



C.231/2014 – GP

Brasília, 17 de Setembro de 2014.

À

Subsecretaria de Desenvolvimento Sustentável

Secretaria de Assuntos Estratégicos

Presidência da República

Prezados Senhores,

Em conformidade com a Carta de Acordo nº 25760/2014 na qual estabelece parceria entre o PNUD e a Fundação Eliseu Alves para a 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 primeiro produto "Linha de base de produção agropecuária e alocação de terra para o período 2010-2040".

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

Produto 1: Resultados para o Cenário de Referência

PROJETO BRA/06/032 – BRASIL TRÊS TEMPOS

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

17 de Setembro de 2014



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 (informação mais atualizada disponível), 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 2013, o Brasil apresentou um saldo comercial positivo agrícola de US\$ 83 bilhões (MAPA, 2014). 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, como reforça também o Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC, na sigla em inglês).

O IPCC 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 aponta 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.

Como primeiro produto gerado para o Projeto Brasil 2040, este relatório descreve de forma sucinta as premissas utilizadas e os resultados preliminares para as projeções para a agropecuária, a partir da simulação do cenário de referência no BLUM - Modelo de Uso da Terra para a Agropecuária Brasileira (descrito no Plano de Trabalho).

2. Descrição do cenário de referência

Para a simulação do cenário base sem mudança climática até o ano de 2040 foram utilizadas as premissas do Plano Nacional de Energia 2050 (MME, 2014). 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 PIB 2014 a 0,81%; 2015 1,2%)
- 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, não disponibilizadas no PNE¹¹:

- População mundial crescendo a 0,85% aa (alcançando 9 bilhões em 2040)
- Taxa de inflação brasileira a 4,5% aa, taxa decrescente até atingir 3,62% no final do período
- Premissas setoriais adotadas (a serem discutidas na reunião):

¹¹ Baseado em diversas fontes de projeções e extrapolado para 2040, caso não disponível, tais como: Banco Mundial (para população mundial), extrapolação do centro da meta de inflação atual (Banco Central), entre outras fontes (atualização de políticas públicas, por exemplo, como o mandato de biodiesel aprovado em 2014).

- Consumo de etanol de 61 bilhões de litros em 2030 e 68 bilhões de litros em 2040 (apenas produção de primeira geração do biocombustível)
- Biodiesel incorporando B7 a partir de 2014, sendo 70% óleo de soja
- Atualização para a safra 2014 (10º Levantamento de grãos da CONAB)

Foi considerada expansão de florestas comerciais, as quais são exogenamente incorporadas no BLUM substituindo pastagens de baixa tecnologia:

- Meta do Plano ABC para 2020 de 3 milhões de hectares adicionais em relação a 2010;
- Em 2040, a área total de florestas alcançará 11,4 mm ha.

É importante enfatizar que várias premissas precisam ser alinhadas com os demais grupos setoriais que fazem parte deste estudo, como do setor de energia (cenário de referência para consumo de etanol, biodiesel e produtos florestais para fins energéticos).

Assim, estes resultados serão revisados quando feitas as análises setoriais que servem de variáveis de entrada no BLUM e devem ser considerados como confidenciais.

3. Resultados preliminares para o cenário de referência

Conforme apresentado na Tabela 1, 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:

- 167% para grãos e oleaginosas;
- 86% para farelo e óleo de soja;
- 77% para açúcar e 167% para etanol (cenário exógeno para consumo);
- 58% para a carnes de frango, suína e bovina;
- 86% para a produção de leite.

Vale destacar que as taxas de crescimento anuais para o período projetado foram menores do que as observadas nos últimos dez anos. Ainda assim, espera-se forte crescimento do agronegócio brasileiro.



Tabela 1 - Resultados preliminares para o cenário de referência: projeções da agropecuária para 2040

		2010	2015	2020	2025	2030	2040	2040-2010 ^a	Cresc. Anual ^b
Grãos e oleaginosas	Produção	148,892	200,328	230,770	265,941	305,155	397,639	248,747	8,292
	Consumo Doméstico	113,835	129,093	142,119	155,326	169,434	201,745	87,910	2,930
	Exportações Líquidas	36,588	70,739	88,393	110,216	135,300	195,379	158,792	5,293
Farelo de soja	Produção	27,154	29,979	33,351	37,051	41,161	50,885	23,731	791
	Consumo Doméstico	12,944	15,606	18,092	20,562	23,256	29,419	16,475	549
	Exportações Líquidas	13,629	14,371	15,259	16,490	17,905	21,466	7,837	261
Óleo de soja	Produção	6,973	7,628	8,486	9,428	10,473	12,948	5,975	199
	Consumo Doméstico	5,187	6,337	6,976	7,724	8,489	10,174	4,988	166
	Para Biodiesel	2,098	3,519	3,771	4,032	4,339	4,401	2,303	77
	Exportações Líquidas	1,548	1,305	1,511	1,706	1,984	2,778	1,230	41
Açúcar	Produção	37,893	42,572	46,137	50,303	54,992	66,995	29,102	970
	Consumo Doméstico	10,659	15,189	16,116	16,973	17,790	19,649	8,990	300
	Exportações Líquidas	27,514	27,431	30,000	33,318	37,192	47,328	19,813	660
Etanol (milhões litros)	Produção	27,376	32,819	45,900	56,627	65,779	73,128	45,752	1,525
	Consumo Doméstico	25,501	30,673	42,831	52,842	61,382	68,215	42,714	1,424
	Exportações Líquidas	2,067	2,450	2,450	2,450	2,449	2,449	382	13
Carnes bovina, suína e frango	Produção	24,833	27,295	30,248	33,017	35,697	39,173	14,340	478
	Consumo Doméstico	18,801	20,219	21,818	23,259	24,492	26,801	8,000	267
	Exportações Líquidas	6,031	7,075	8,430	9,758	11,205	14,730	8,699	290
Leite	Produção	31,628	38,054	42,654	46,562	50,431	58,934	27,306	910
	Consumo Doméstico	38,691	38,846	43,128	46,772	50,389	58,363	19,672	656
	Exportações Líquidas	-3,534	-792	-474	-210	42	572	4,106	137

Fonte: resultados do estudo

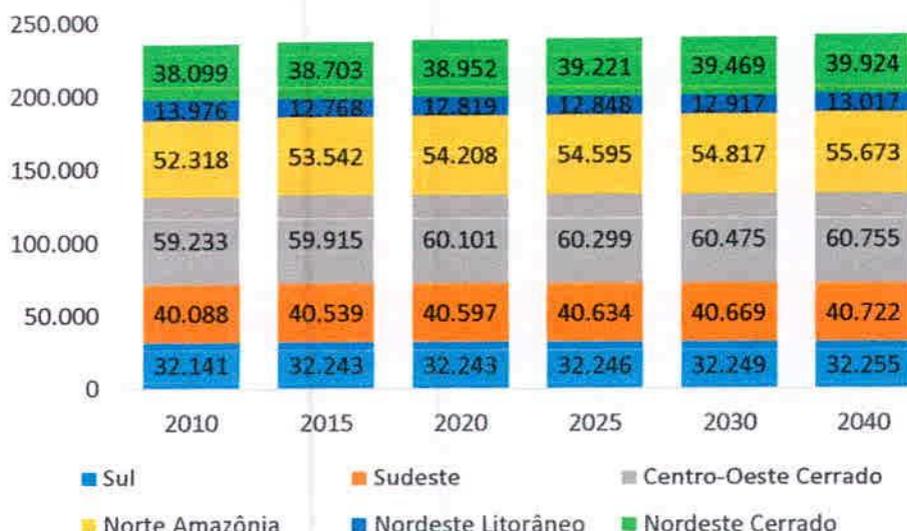
^a Variação absoluta entre 2010 e 2040

^b Variação absoluta entre 2010 e 2040 divididos em 20 anos

62



Figura 1 – Resultados de 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 22,5 milhões de hectares, grande parte substituindo pastagens de baixa tecnologia. A área de pastagens será reduzida em 20,6 milhões de hectares, sendo também substituída por florestas comerciais em 4,6 milhões de hectares. A Figura 1 mostra os resultados para a área alocada para a agropecuária por região BLUM². A agropecuária irá demandar 6,5 milhões de hectares adicionais em 2040 em relação a 2010, sendo 63% da expansão sobre o Cerrado.

Relatório técnico executado pela empresa AGROICONE LTDA-EPP, sediada na Av. General Furtado do Nascimento, 740 - Cj. 81. São Paulo – SP, inscrita no CNPJ sob nº 09.294.138/0001-15.

² A metodologia utilizada e a divisão regional estão descritas no Plano de Trabalho e também no ANEXO I deste relatório.



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.
- Margulis, S e Dubeux C. B. S.(2010) Economia da Mudança do Clima no Brasil: Custos e Oportunidades. IBEP Gráfica, São Paulo. 82 p.
- 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.
- MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Balança Comercial do Agronegócio de 1989 a 2013 (2014). Elaboração a partir de Secex/MDIC – Secretaria do Comércio Exterior, Ministério do Desenvolvimento da Indústria e Comércio Exterior. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1538&t=2>



Anexo I – Descrição do BLUM e modelo de alocação por microrregião

Modelo de Uso da Terra para a Agricultura Brasileira

(Brazilian Land Use Model) – BLUM

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, feijão (primeira e segunda safras), 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.

Módulo de oferta e demanda

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.

A área total alocada pra agricultura e pecuária é calculada para seis regiões³, como mostra a Figura 1:

- Sul (estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul);

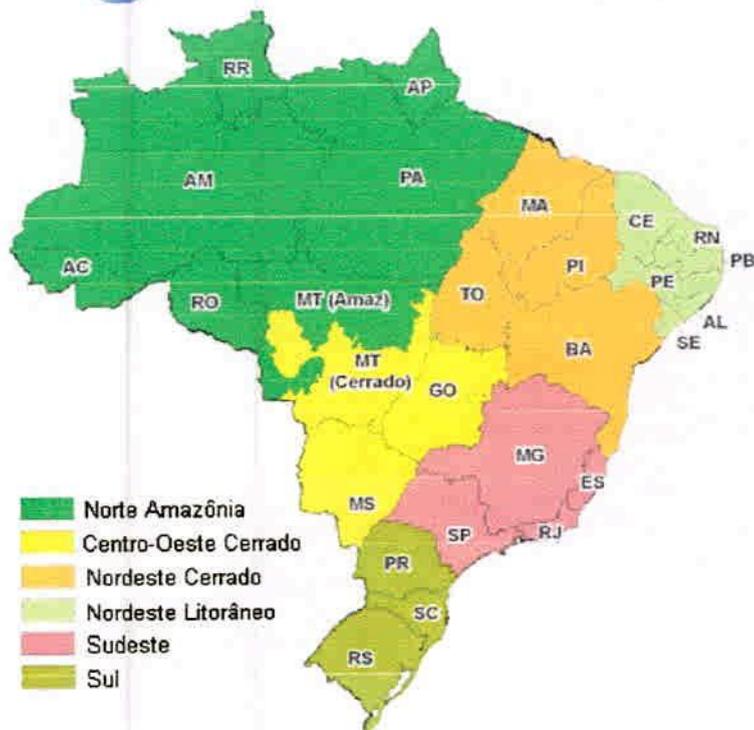
³ As regiões foram divididas a partir da homogeneidade da produção agrícola e da divisão dos biomas.



- 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. Conseqüentemente, 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 seqüência 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.

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



Fontes: Agroicone, IBGE e UFMG.

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 e que a seguinte identidade é satisfeita:

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

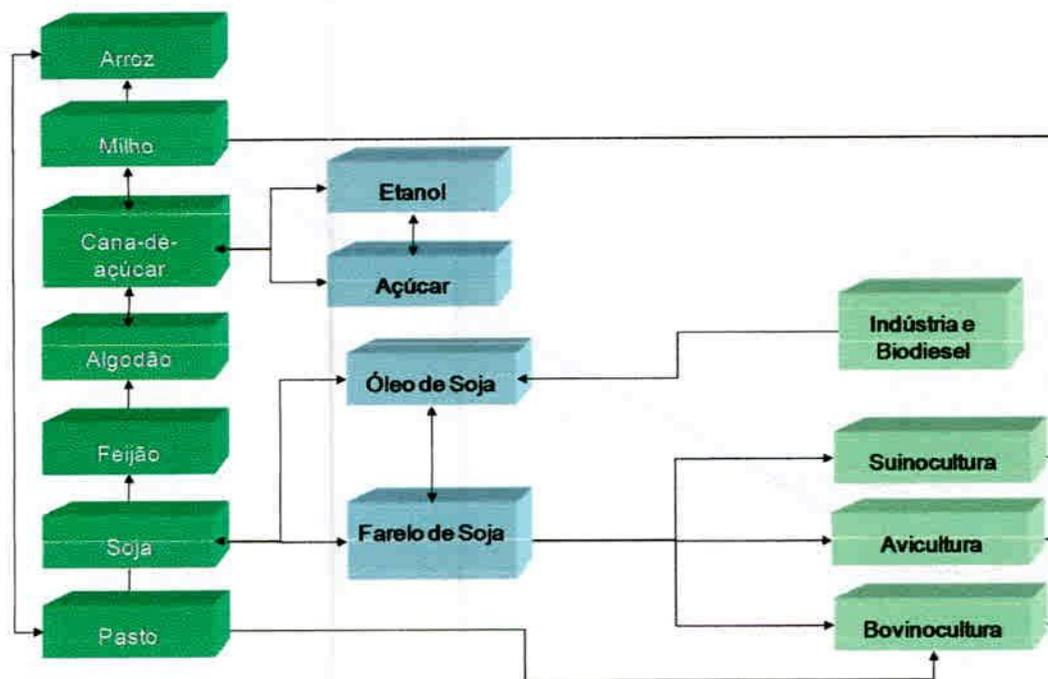
Ou, considerando que *Exportações líquidas* = *Exportações* - *Importações*:

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

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: Agroicone

Módulo de Uso da Terra

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 gera 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 nos 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 coerência das condições acima mencionadas, a área de pastagem é regional e endogenamente determinada, mas considerada como sendo a diferença entre a área total alocada para a agropecuária e a área de lavouras. 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 (como pode ser visto em Nassar et al., 2010⁴). 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.

⁴ 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>>.



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 após a elasticidade-área total, enquanto as elasticidades próprias (elasticidade-área com relação à rentabilidade da própria atividade) são obtidas a partir de análises econométricas e de revisão de literatura.

Equações de uso da terra

No módulo de uso da terra do BLUM, a área a da atividade i de uma região l ($l=1, \dots, 6$) no ano t é definida pela seguinte equação:

$$a_{ilt} = A_l^T * m_{lt} * s_{ilt} \quad (1)$$

A_l^T é a área arável total disponível para produção agropecuária na região l ; m_{lt} é a participação de A_l^T que está sendo utilizado para a produção agropecuária (todas as lavouras e pastagens), e s_{ilt} é a participação da área usada para agropecuária que é dedicada à atividade i . A_l^T é uma variável exógena definida por técnicas de georreferenciamento (SIG).

A variável m_{lt} é endógena no modelo e responde ao índice de retorno (rentabilidade) médio da agropecuária na região l (r_{lt}), sendo a participação da área alocada para agropecuária definida como sendo:

$$m_{lt} = \frac{A_{it}}{A_l^T} = k r_{lt}^{\alpha_{it} \varepsilon_{it}^A} \quad (2)$$

Onde k é uma constante; ε_{it}^A é a elasticidade-oferta de terra (com respeito ao retorno médio) para a região l . O parâmetro α_{it} é positivo, maior ou menor do que a unidade e pode ser definido como:



$$\alpha_t = 1 - \frac{A_t - A_{t0}}{A_t} \quad (3)$$

Onde A_{t0} é a área usada pela agropecuária no período definido como base. Quando a área agropecuária do período t estiver próximo a do período base, α_t será próximo de 1 e não afeta $\varepsilon_{r_t}^{A_t}$.

No entanto, se a área da agropecuária no período t for maior do que àquela do período base, então o parâmetro α_t será menor do que a unidade e reduzirá o efeito de $\varepsilon_{r_t}^{A_t}$. O contrário ocorre quando a área alocada for menor do que (A_{t0}), aumentando o efeito da elasticidade-oferta de terra.

A r_{it} é calculada a partir de evidências que indicam quais atividades se expandem sobre a fronteira agrícola, definida como:

$$r_{it} = \sum_{i=1}^n r_{it} * d_{ii} \quad (4)$$

Onde d_{ii} é um vetor de pesos da taxa de desmatamento causado por cada uma das atividades agropecuárias obtidos por imagens de satélite e SIG. O vetor d_{ii} é calculado da seguinte forma:

$$d_{ii} = \frac{D_{ii}}{D_i^T}; \text{ where } D_i^T = \sum_{i=1}^n D_{ii} \quad (5)$$

De acordo com Holt (1999), a elasticidade-área (cruzada) da atividade i com relação à rentabilidade das outras atividades j pode ser definida como:

$$\varepsilon_{r_{jt}}^{A_{it}} = \frac{\partial a_{it}}{\partial r_{jt}} \frac{r_{jt}}{a_{it}} = A_t^T \left(\frac{\partial m_i(r_t)}{\partial r_t} \frac{\partial r_t}{\partial r_{jt}} s_{it}(r_{it}, r_{jt}) + m_i(r_t) \frac{\partial s_{it}(r_{it}, r_{jt})}{\partial r_{jt}} \right) \frac{r_{jt}}{A_t^T m_i(r_t) s_{it}(r_{it}, r_{jt})} \quad (6)$$

Rearranjando tem-se:

$$\varepsilon_{r_{jt}}^{A_{it}} = \frac{\partial m_i(r_t)}{\partial r_t} \frac{\partial r_t}{\partial r_{jt}} \frac{r_{jt}}{m_i(r_t)} + \frac{\partial s_{it}(r_{it}, r_{jt})}{\partial r_{jt}} \frac{r_{jt}}{s_{it}(r_{it}, r_{jt})} \quad (7)$$

O primeiro termo do lado direito da equação (6) pode ser definido como sendo o efeito escala da elasticidade-área cruzada $\varepsilon_{r_{jt}}^{S_{it}}$:

$$\varepsilon_{r_{jt}}^{S_{it}} = \frac{\partial m_i(r_t)}{\partial r_t} \frac{\partial r_t}{\partial r_{jt}} \frac{r_{jt}}{m_i(r_t)} \quad (8)$$

O efeito competição da elasticidade-área cruzada $\varepsilon_{r_{jt}}^{C_{it}}$ refere-se à última parte do lado direito da



equação (6):

$$\mathcal{E}_{r_{jt}}^{c_{ij}} = \frac{\partial s_{it}(r_{it}, r_{jt})}{\partial r_{jt}} \frac{r_{jt}}{s_{it}(r_{it}, r_{jt})} \quad (9)$$

Por analogia, a elasticidade-área da atividade i em relação à sua própria rentabilidade é também formada pelos efeitos escala e competição, podendo ser escrita como:

$$\mathcal{E}_{r_{it}}^{i,i} = \frac{\partial m_i(r_{it})}{\partial r_{it}} \frac{\partial r_{it}}{\partial r_{it}} \frac{r_{it}}{m_i(r_{it})} + \frac{\partial s_{it}(r_{it}, r_{jt})}{\partial r_{it}} \frac{r_{it}}{s_{it}(r_{it}, r_{jt})} = \mathcal{E}_{r_{it}}^{s_{ij}} + \mathcal{E}_{r_{it}}^{c_{ij}} \quad (10)$$

Onde $\mathcal{E}_{r_{it}}^{s_{ij}}$ é o efeito escala e $\mathcal{E}_{r_{it}}^{c_{ij}}$ é o componente de efeito competição da elasticidade-área da atividade i com relação a seu próprio retorno⁵.

O componente de competição por terra pode ser calculado como sendo:

$$\mathcal{E}_{r_{it}}^{c_{ij}} = \mathcal{E}_{r_{it}}^{i,i} - \mathcal{E}_{r_{it}}^{s_{ij}} \quad (11)$$

Apode-se observar a conexão entre a elasticidade-oferta de terra regional ($\mathcal{E}_{r_{it}}^{A,i}$) e p efeito escala de cada atividade ($\mathcal{E}_{r_{it}}^{s_{ij}}$). A elasticidade-oferta de terra pode ser definida como:

$$\mathcal{E}_{r_{it}}^A = \frac{\partial m_i r_i}{\partial r_i m_i} \quad (12)$$

E, rearranjando:

$$\frac{\partial m_i}{\partial r_i} = \frac{\mathcal{E}_{r_{it}}^A m_i}{r_i} \quad (13)$$

A elasticidade em relação à variação do retorno para uma dada atividade i na região l é:

$$\mathcal{E}_{r_{it}}^{s_{ij}} = \frac{\partial m_i}{\partial r_i} \frac{\partial r_i}{\partial r_{it}} \frac{r_{it}}{m_i} \quad (14)$$

A qual, a partir da equação (14) com alguns cálculos pode ser escrita como sendo:

$$\mathcal{E}_{r_{it}}^{s_{ij}} = \mathcal{E}_{r_{it}}^A \frac{\partial r_i}{\partial r_{it}} \frac{r_i}{r_{it}} \quad (15)$$

A partir da equação (4), a equação (15) pode ser escrita como:

⁵ Also explained in Nassar *et al.* (2009) available at <http://www.iconebrasil.com.br/arquivos/noticia/1872.pdf>



$$\varepsilon_{r_{ii}}^{s_{i,i}} = \varepsilon_{r_i}^{A_i} a_{ii}^j \frac{r_i}{r_{ii}} \quad (16)$$

Usando a equação (15), se a elasticidade-oferta é conhecida, o efeito escala da atividade i pode ser facilmente calculado. Como resultado, o vetor contendo todas as elasticidades do componente de competição $\varepsilon_{r_{ii}}^{s_{i,i}}$ representa a diagonal da matriz de competição (uma para cada região l). Juntamente com outras restrições (como as condições de regularidade e elasticidades cruzadas negativas), os termos da diagonal são, então, utilizados para obter as elasticidades cruzadas na matriz de competição, como representado na equação (9).

Para as lavouras de inverno e de segunda safra, tais como trigo, cevada, milho segunda safra e feijão (parte das segundas e terceiras safras a depender da região), a área e produção alocadas possuem dinâmicas diferenciadas em relação às lavouras de primeira safra apresentadas acima. Considerando o fato de que estas lavouras não competem por terra por serem produzidas após uma safra principal, a área projetada para o milho segunda safra pode ser representada pela seguinte equação:

$$a_{it}^i = \alpha_i^i + \beta_i^i a_{jt}^i + \delta_i^i r_{jt}^i + \varphi_i^i r_{it}^i + \phi_i^i a_{it-1}^i \quad \begin{array}{l} i=\text{milho} \\ j=\text{soja} \end{array} \quad (17)$$

Sendo r_{it}^i a rentabilidade do milho segunda safra, r_{jt}^i é o retorno esperado da soja, a_{jt}^i é a área de soja e a_{it-1}^i é a área alocada para milho segunda safra no ano anterior. Para os parâmetros, tem-se: $\beta > 0$, $\delta > 0$, $\phi > 0$ and $\varphi > 0$.

Para o feijão segunda safra a dinâmica é mais simplificada em relação a do milho, sendo a área projetada dependente apenas de sua própria rentabilidade. No caso do trigo, as projeções de área dependem de seu próprio retorno esperado (positivamente) e negativamente em relação ao retorno da cevada, pois estes grãos competem entre si por área plantada de inverno. Para a cevada, as projeções dependem de seu próprio retorno e da área plantada do ano anterior.

Modelo de alocação dos resultados do BLUM nas microrregiões brasileiras

O modelo de alocação por microrregiões segue a estrutura do BLUM para o lado da oferta e aloca os impactos de um cenário específico ao nível das microrregiões.



Os resultados do BLUM para área e produção em cada uma das 6 regiões para soja, milho (primeira safra e total), arroz, algodão, feijão (primeira safra 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 alocar os resultados do BLUM em cada estado e depois distribuindo o resultado do estado para suas respectivas microrregiões.

Alocação dos resultados do BLUM em cada estado

A área total usada pela agricultura (primeira safra e pasto) no BLUM, A_l , é alocada para o nível estadual de forma que:

$$A_{l,t} = \sum A_{s,t} * e_{l,t} \quad l=(1,\dots,6); t = (2014,\dots,2040)$$

Onde $e_{l,t}$ é o fator de correção para cada região l do BLUM em cada ano t para a diferença entre a área estimada pelo modelo de microrregião e o BLUM. De forma geral, este fator é menor que 10%, pois os dois modelos seguem uma estrutura econômica e pressupostos similares. A variável $A_{s,t}$ é a área total alocada para agricultura (primeira safra e pasto) em cada estado s no ano t . Sendo definida pela equação:

$$A_{s,t} = A_s^T * m_{s,t}$$

A_s^T é a área total disponível para expansão agrícola no estado s . Esta variável é exógena, determinada por modelagem de SIG. A variável $m_{s,t}$ representa a parcela da área usada para produção agrícola (primeira safra e pasto). Ela é endógena ao modelo e responde a receita média do mercado agrícola (determinada pelo preço e produtividade) do estado s , de forma que a parcela de área alocada para agricultura em cada estado pode ser definida como:

$$\Delta m_{s,t} = \frac{A_{s,t}}{A_s^T} = \Delta r_s^{\alpha_{s,t} \epsilon_{\eta}^A}$$

Onde $A_{s,t}$ é a área total alocada para agricultura (primeira safra e pasto) em cada estado s no ano t ;



A_s^T é a área total disponível para expansão agrícola no estado s . Na segunda parte da equação, $\varepsilon_\eta^{A_i}$ é a elasticidade de oferta de terra para cada região l do BLUM e $\alpha_{s,t}$ é um parâmetro positivo definido como:

$$\alpha_{s,t} = 1 - \frac{A_{s,t} - A_{s,0}}{A_s^T}$$

Onde $A_{s,0}$ é a área usada para agricultura em um período base. Quando a área agrícola no ano t é próxima da área agrícola no período base, $\alpha_{s,t}$ é próxima de 1, tendo pequeno efeito sobre $\varepsilon_\eta^{A_i}$. Porém, se a área agrícola em t é maior do que no período base, o parâmetro $\alpha_{s,t}$ é menor que 1, reduzindo o efeito de $\varepsilon_\eta^{A_i}$. O contrário também pode ocorrer.

$r_{s,t}$ é a receita média de cada estado e é calculada através de evidências que indicam qual atividade i mais expandiu na fronteira agrícola e é definida como:

$$r_{s,t} = \sum_{i=1}^n r_{i,t} * d_{l,i} \quad s=(1,\dots,6)$$

Onde d_{li} é um vetor de ponderação de taxa de deflorestamento causada pela atividade agrícola obtida por imagem de satélite e modelada por SIG para cada região BLUM, isto é, para cada estado e microrregião nós usamos o vetor de ponderação de sua respectiva região BLUM, com o descrito na metodologia do BLUM.

A oferta regional e a demanda nacional para cada atividade no Brasil é exógena e determinada pelo BLUM. A soma das áreas dos estados, $a_{i,s,t}$, para cada cultura i e ano t é igual a área de sua respectiva região ($a_{i,l,t}$), isto é

$$a_{i,l,t} = \sum_{s=1}^n a_{i,s,t} * e_{i,t}$$



Onde $e_{i,t}$ é um fator de ajuste.

Seguindo a estrutura do BLUM, a área a da cultura i para o estado s no ano t é determinada pela equação:

$$a_{i,s,t} = A_{s,t} * S_{i,s,t}$$

Onde $S_{i,s,t}$ é parcela da área usada pela agricultura que é dedicada a cultura i no estado s e por sua vez, é determinada pela seguinte equação:

$$S_{i,s,t} = S_{i,s,t-1} * \sum_{j=1}^n \Delta r_{i,j,s} * \varepsilon_{r,i,j}^{s,i}$$

Similar ao BLUM a elasticidade cruzada de área da cultura i com respeito a receita de outra cultura j é definida como:

$$\varepsilon_{r,s,j}^{s,i} = \frac{\partial m_s(r_{s,t})}{\partial r_{s,t}} \frac{\partial r_{j,s,t}}{\partial r_{j,s,t}} \frac{r_{j,s,t}}{m_s(r_{s,t})} + \frac{\partial S_{i,s,t}(r_{i,s,t}, r_{j,s,t})}{\partial r_{j,s,t}} \frac{r_{j,s,t}}{S_{i,s,t}(r_{i,s,t}, r_{j,s,t})}$$

O primeiro termo da equação é definido com efeito escala da elasticidade cruzada da área $\varepsilon_{r,s,j}^{s,i}$ e o segundo termo é o efeito competição escala da elasticidade cruzada da área $\varepsilon_{r,s,j}^{c,s,i}$.

A produção para cada estado e cultura é um resultado da área e produtividade, sendo a última projetada como:

$$y_{i,l,t} = \sum_{m=1}^n \frac{y_{i,s,t} * a_{i,s,t}}{A_{l,j,t}} * e_{l,t} \quad s \in l; l=(1,\dots,6)$$

Onde $y_{i,l,t}$ é a produtividade da cultura i no estado s no ano t e $e_{l,t}$ é um fator de correção para cada região BLUM l para a diferença entre a produtividade da cultura em cada região e ponderada pela soma da produtividade nos estados.



Alocação dos resultados dos estados em cada microrregião

Na segunda etapa do modelo de alocação, as microrregiões diferenciam-se uma das outras por seus preços e produtividade. Basicamente, a relação direta entre a microrregião e sua respectiva região BLUM é o vetor de preços de equilíbrio para cada atividade considerada em cada ano.

Os preços projetados para cada microrregião e cada atividade seguem a variação de sua respectiva região BLUM. A produtividade de cada microrregião é uma função linear da produtividade de seu respectivo estado e a produção é um resultado da área multiplicada pela sua produtividade.

A área agrícola total de cada estado é alocada em suas respectivas microrregiões de forma que:

$$a_{s,i,t} = \sum_{m=1}^n a_{i,m} * e_{s,i,t} \quad s = (1, \dots, 26) \text{ and } m \in s$$

Onde $a_{i,m}$ é a área alocada para atividade i na microrregião m e $e_{s,i,t}$ é o fator de correção para cada estado para a diferença entre a área do estado e a soma da área de suas microrregiões.

A área alocada para cada cultura em cada microrregião, $a_{i,m,t}$, segue a estrutura do estado ao qual faz parte e é definida por:

$$a_{i,m,t} = A_m^T * m_{m,t} * s_{i,m,t}$$

Onde A_m^T é a área total disponível para produção da agricultura na microrregião m , determinada exogenamente. A variável $m_{m,t}$ representa a parcela da área usada para produção da agricultura (primeira safra e pasto) para cada microrregião m e $s_{i,m,t}$ é a parcela da área utilizada pela agricultura que é dedicada a cultura i na microrregião m , sendo definida por:

$$s_{i,m,t} = s_{i,m,t-1} * \sum_{j=1}^n \Delta r_{i,j,m} * \varepsilon_{r,i,j}^{s,i}$$

Onde $\varepsilon_{r,i,j}^{s,i}$ é a mesma elasticidade cruzada de área para cultura i com respeito a receita de outra cultura j calculada para o estado s .

A produção de cada atividade em cada microrregião é um resultado da área multiplicada pela



produtividade. Esta por sua vez, é uma função linear da produtividade do estado, de forma que:

$$y_{s,i,t} = \sum_{m=1}^n \frac{y_{i,m,t} * a_{i,m,t}}{A_{s,t,t}} * e_{s,i,t} \quad m \in s; s=(1,\dots,27)$$

Onde $y_{i,m,t}$ é a produtividade da cultura i na microrregião m no ano t e $e_{s,i,t}$ é o fator de correção para o estado para a diferença entre a produtividade para cada cultura em cada estado, ponderada pela produtividade das microrregiões.

Em resumo, o modelo de alocação na microrregião é uma ferramenta econômica que distribui a oferta e a área usada pelo setor agrícola, considerando padrões históricos e especificações regionais.

Claudio Humberto Amancio
Gerente de Projetos
(61) 3448 2054