

Água, irrigação e agropecuária sustentável¹

Demetrios Christofidis²

Resumo – Este artigo apresenta a importância da gestão dos recursos hídricos e das boas práticas de irrigação para o alcance de melhores resultados nas atividades agrícolas no mundo e no Brasil. Os resultados da produtividade agrícola brasileira para os períodos 1990–1991 e 2011–2012 são descritos e confirmam as vantagens da adequada gestão agropecuária com a prática da irrigação. A potencialidade das terras brasileiras para o desenvolvimento sustentável da irrigação é apresentada para cada estado brasileiro, e também são apresentadas as atuais áreas irrigadas com a utilização dos principais métodos de irrigação, por estado e região. O trabalho apresenta as principais medidas para otimização do uso da água na agropecuária com a prática da irrigação.

Palavras-chave: agricultura irrigada, agropecuária irrigada, desenvolvimento sustentável, escassez hídrica, recursos hídricos.

Water, irrigation, and sustainable agriculture and livestock

Abstract – This paper presents the importance of the water resources management and the best irrigation practices to reach better results in the agricultural activities worldwide and in Brazil. The results of the Brazilian agricultural productivity are described for the period of 1990/1991–2011/2012 and confirm the advantages of the adequate agricultural and livestock management with irrigation practices. The potentiality of Brazilian soils for sustainable irrigation development is described for each Brazilian state. The study also describes the current irrigated areas with the use of the main irrigation methods, per state and per region. The work presents the main measures for water use optimization in the agriculture and livestock sector with irrigation practices.

Keywords: irrigated agriculture, irrigated agriculture and livestock, sustainable development, water scarcity, water resources.

Introdução

Estima-se que a população mundial se eleve para 8,3 bilhões dentro de 17 anos, em 2030, e para 9,1 bilhões, em 2050 (UN DESA, 2009).

O crescimento esperado para 2030 acarreta um cenário em que a demanda por alimentos aumentará em 50%, e o estimado para 2050 aumenta tal necessidade para 70% (BRUINSMA, 2009).

¹ Original recebido em 15/1/2013 e aprovado em 5/2/2013.

² Engenheiro civil, Doutor em Gestão Ambiental – Gestão dos Recursos Hídricos, pela Universidade de Brasília (UnB), Centro de Desenvolvimento Sustentável (CDS), M.Sc. em Engenharia de Irrigação e Drenagem pela Universidade de Southampton, Inglaterra, Especialista em Infraestrutura Sênior – Recursos Hídricos: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), professor (tempo parcial) da UnB, do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental e Centro de Desenvolvimento Sustentável. SMPW, Quadra 21, Conjunto 2, Casa 9, CEP 71745-102, Brasília, DF. E-mail: dchristofidis@gmail.com

Em 2010 existiam no mundo cerca de 995 milhões de pessoas em condições de insegurança alimentar (FAO, 2011), e os desafios associados à garantia de oferta de alimentos e energia no planeta são os que mais preocupam.

Conforme as previsões da Un Water (2009), até 2050 haverá um crescimento da demanda por fontes hidroelétricas e outros recursos energéticos de 60%. Essas duas questões, produção agrícola e pecuária de alimentos e energia, estão vinculadas. No mesmo período haverá necessidade de produção de alimentos, de fibras e de combustíveis pela agropecuária, e a produção agrícola e pecuária necessitará de água e energia para garantir uma produção sustentável.

Segundo descrito por Congrove e Cosgrove (2012), havia no mundo, em 2008, uma área de 1,56 bilhão de hectares em produção agrícola, da qual cerca de 304 milhões de hectares estavam atendidos com sistemas de irrigação. Nesse um quinto de áreas cultivadas em que se praticam as técnicas de agricultura irrigada, obtém-se uma produtividade física superior a dois quintos da produção total agrícola.

Globalmente, a produtividade obtida com a prática da agricultura irrigada é 2,7 vezes maior do que a obtida pela agricultura tradicional – de sequeiro –, que é dependente das irregularidades próprias das águas das chuvas. Por isso, a prática da irrigação, que possibilita melhorar o manejo da produção e da disponibilidade de água – em quantidade, em qualidade e em oportunidade – e auxilia na eficácia da oferta dos insumos aos cultivos, desempenhará um crescente e fundamental papel na produção agrícola e pecuária.

A estimativa de potencial para acréscimo na área mundial dominada por sistemas de irrigação – que atualmente é de 304 milhões de hectares – é de cerca de 180 milhões de hectares e considera a possibilidade de incorporação das áreas potenciais brasileiras para desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada, que representam um adicional, à atual área irrigada, de cerca de 25 milhões de hectares. Ou seja, o Brasil detém um potencial da ordem de 14% das capacidades mundiais de incorporação de novas áreas à agricultura irrigada.

A FAO estimou um aumento de 11% na demanda de água pela agricultura irrigada no período entre 2008 e 2050. A previsão é de que a necessidade de recursos hídricos se eleve em cerca de 5% (CONGROVE; COSGROVE, 2012). Pode-se considerar essa estimativa subestimada, em face do aumento na demanda verificado nos últimos 10 anos, quando o volume anual total de água derivada dos mananciais para atender à irrigação elevou-se em 20%, passando de cerca de 2,6 bilhões de m³, observado em 2000, para 3,1 bilhões de m³ em 2010 (CONGROVE; COSGROVE, 2012); e em virtude da estimativa apresentada pela WWF Global (2011), que indicou que a demanda anual de água pela agricultura irrigada alcançará 4,5 bilhões de m³ em 2050.

Água, irrigação e a produção agropecuária mundial

A precipitação total anual sobre a superfície terrestre tem-se mantido em cerca de 110.000 km³. Parte dela é denominada “água azul”, correspondendo à porção de precipitação (40%), que alimenta os cursos de água e que serve de recarga aos aquíferos profundos, sendo objeto do foco tradicional da gestão dos recursos hídricos; e equivale a uma oferta anual da ordem de 44.000 km³ (MOLDEN, 2007).

Os três principais usos consuntivos da água são: humano/nas moradias (consumo doméstico domiciliar), produção industrial e produção agrícola. Estima-se que em 2010 as derivações mundiais de água, dos diversos mananciais, para atendimento aos três usos consuntivos citados, totalizaram um volume anual de 4.420 km³, assim constituídos:

- Abastecimento doméstico/domiciliar: 440 km³ (9,9%).
- Produção industrial: 880 km³ (19,8%).
- Produção agrícola: 3.100 km³ (70,2%).

Em 2010, portanto, a produção agrícola necessitou de 3.100 km³ de “água azul” para

irrigação, tendo obtido acima de 40% do total mundial colhido com as diversas lavouras.

O ciclo hidrológico do mundo, no que respeita ao que ocorre em terra firme, se integra com a parcela de água da precipitação que é retida no solo e evapora, ou é incorporada às plantas e organismos, denominada “água verde” ou água do solo, que corresponde a um volume anual de cerca de 66.000 km³ e representa a fonte de recursos básicos primários para os ecossistemas, responsável por cerca de 60% da produção anual agrícola tradicional – de sequeiro. As águas azul e verde possibilitam a atual produção agrícola mundial, obtida na área total de solos agricultados de 1,56 bilhão de hectares.

O gerenciamento das águas visa harmonizar a oferta de água pela natureza com as necessidades de água para atender aos usos consuntivos e não consuntivos, sem que haja o risco de conflitos causados pela redução da quantidade; de doenças pela deterioração da qualidade; ou de danos à manutenção das espécies pela alteração da dinâmica das águas.

Há necessidade de: a) proteger a vegetação e os solos, que possibilitam os fluxos de água, sua forma natural de movimentação e de filtração; e b) definir as prioridades e os limites de uso para as águas, criando as condições de convivência entre os usuários e os ecossistemas. Nesse exercício devem-se envolver três níveis de realidade das águas – quantidade, qualidade e oportunidade/dinâmica.

As considerações sobre as quantidades, as qualidades e as oportunidades (fluxos e oscilações de níveis e vazões) de água, dos diversos corpos hídricos, em variadas situações afetadas pelas ações antrópicas, são fundamentadas em paradigmas insuficientes para compreensão plena da dinâmica da natureza; e na percepção dos vínculos da complementaridade existente em especificidades regionais e temporais entre variações/mudanças de clima, vegetações e solos, e dos respectivos efeitos sinérgicos na quantidade, na qualidade e nos fluxos de água.

Escassez hídrica quantitativa

Do ponto de vista de quantidade de água, verifica-se que muitos países e regiões estão em condição denominada “escassez hídrica quantitativa”, pois a disponibilidade de água é menor que 4.650 litros por pessoa.dia (abaixo de 1.700 m³ hab.⁻¹ ano⁻¹).

Caso a disponibilidade quantitativa de água esteja abaixo de 2.740 litros por pessoa por dia (1.000 m³ hab.⁻¹ ano⁻¹), ocorre a “escassez hídrica crônica”, situação na qual não existe folga para uso de água para finalidades que são hidroativas, como produção agrícola, produção pecuária e uso industrial, a não ser que haja gestão integrada e sustentável dos recursos hídricos (Figura 1).

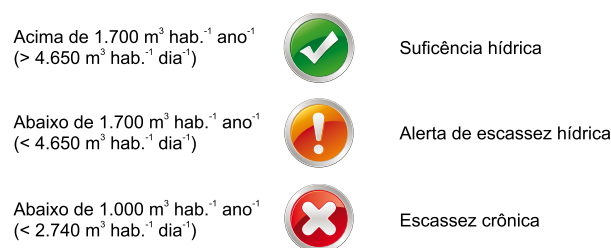


Figura 1. Indicadores de disponibilidade per capita anual de água renovável.

A dificuldade em alcançar atendimento de água em quantidade suficiente para as atividades intensivas no uso de água, em uma região que está próxima à situação de “alerta de escassez hídrica”, com disponibilidades de água abaixo de 4.650 litros por habitante por dia, é decorrente da necessidade de água mínima requerida para atender aos três principais usos consuntivos: o abastecimento humano, o uso industrial e a produção de alimentos. Esses usos são finalidades de uso da água que, juntas, correspondem, em muitos países, a mais de dois mil litros de água por habitante por dia.

Além da necessidade de oferecer água em quantidade, é necessário observar e atender a outras realidades: água com qualidade, e água

em oportunidade, que significa o respeito aos ecossistemas, e integração e harmonia com as necessidades de água para finalidades consideradas usos não consuntivos: navegação, hidroeletricidade, piscicultura, lazer, para assimilação e diluição de resíduos, entre outros.

Escassez hídrica qualitativa

Do ponto de vista de qualidade da água, observa-se que em certas regiões ocorre a denominada “escassez hídrica qualitativa”, em que a disponibilidade de água é afetada pela poluição química, microbiológica e térmica, passando a apresentar qualidade inadequada ao padrão requerido pela finalidade que se apresenta. Em tal situação, o corpo d’água está deteriorado, sendo prejudicial ou nocivo à saúde, podendo causar doenças, e não sendo adequado para diversas utilizações, especialmente as vinculadas à manutenção da vida. Sendo nocivo à saúde dos seres humanos e dos ecossistemas, pode causar doenças, mutações e até a morte de espécies.

As principais debilidades qualitativas de água têm origem nos lançamentos de resíduos de esgotos sanitários pelas populações em áreas urbanas, e nos resíduos líquidos das indústrias e agroindústrias, quando os graus de tratamento e as disposições de águas servidas não ocorrem em consonância com a capacidade de depuração dos corpos receptores.

As degradações dos corpos d’água são agravadas pelas contaminações por resíduos de metais pesados carreados das vias públicas pelos sistemas urbanos de drenagem de águas pluviais; pelos lançamentos oriundos de explorações agrícolas (sequeiro e irrigação) e pela pecuária, cujos resíduos líquidos fluem pelos drenos naturais ou percolam para os aquíferos profundos; e pelo lançamento de resíduos sólidos, plásticos e de fármacos que resultam em interferentes endócrinos com impactos nos seres humanos e animais, afetando a reprodução das espécies. Os diversos contaminantes, em sinergia, podem causar impactos ampliados ou diferentes daqueles com

efeitos cumulativos decorrentes dos poluentes considerados em separado.

Escassez associada à dinâmica hídrica

Do ponto de vista de oportunidade de água, observa-se que em certas regiões ocorre a denominada “escassez associada à dinâmica hídrica” que repercute nos fluxos e oscilações de níveis e vazões dos corpos hídricos.

A execução de diversas infraestruturas hídricas, em diversas regiões do planeta, tem alterado os regimes hidrológicos, modificando tanto as suas características qualitativas (PINAY; CLEMENT; NAIMAN, 2002) quanto quantitativas (BUNN; ARTHINGTON, 2002), não considerando plenamente as demandas hídricas das espécies das regiões, afetando a variação das magnitudes, duração, frequência e período de ocorrência de eventos (estiagens, cheias e inundações), além da taxa de variação de eventos associados às águas (de estiagem para cheia e vice-versa); e desrespeitando a adaptação, a coevolução e a utilização dos eventos hidrológicos em diversos estágios de vida ou de produção por espécies nativas, e até mesmo por parcela da sociedade (SOUZA et al., 2008).

Água, irrigação e agropecuária irrigada no Brasil

Quando comparadas as superfícies agrícolas dos 15 principais cultivos, na área plantada no Brasil, verifica-se que os principais méritos do aumento da produção brasileira são especialmente os associados ao incremento de produtividade na maioria dos cultivos.

Em anos seguidos a agricultura, no Brasil, vem quebrando recordes de produção. O aumento de produtividade tem sido constante. Na safra de 1990–1991 o plantio foi realizado em uma área de cerca de 37,9 milhões de hectares, oportunidade em que a produção total colhida foi em torno de 57,9 milhões de toneladas. Em 2011–2012 a área plantada total foi da ordem de 50,9 milhões de hectares, elevando, entretanto,

a produção para cerca de 166,2 milhões de toneladas (CONAB, 2013).

Na safra de 1990–1991 cada hectare plantado com grãos produziu, em média, 1,528 tonelada, enquanto na colheita de 2011–2012, o rendimento médio foi 2,14 vezes superior, da ordem de 3,267 toneladas por hectare (Tabela 1).

Entre os principais fatores do crescimento da produtividade situam-se os investimentos em modernização – implantação de equipamentos de irrigação, sementes melhoradas, variedades de maior resposta, racionalização do plantio, aplicação de alta tecnologia, manejo do sistema de produção e desenvolvimento de capacidades dos produtores.

Os especialistas estimam que, no Brasil, existem cerca de 110 milhões de hectares de solos aptos para expansão e desenvolvimento

anual de agricultura em bases sustentáveis, dos quais aproximadamente 72% estão localizados no Cerrado.

No que respeita aos solos aptos para o desenvolvimento da agricultura irrigada de forma sustentável, o potencial brasileiro está estimado em 29.564.000 hectares (Tabela 2).

As possibilidades de desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada no Brasil, estudadas pelo MMA (Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Recursos Hídricos/Departamento de Desenvolvimento Hidroagrícola), no final da década passada, levaram em conta a existência de solos aptos (classes 1 a 4); a disponibilidade de recursos hídricos sem risco de conflitos com outros usos prioritários da água; e o atendimento às exigências da legislação ambiental e do Código Florestal, resultando no potencial, por estado,

Tabela 1. Área, produtividade e produção de grãos no Brasil em 1990–1991 e em 2011–2012.

Cultura	Área plantada (mil hectares)		Produção (mil toneladas)		Produtividade (kg/ha)	
	Safr		Safr		Safr	
	1990–1991	2011–2012	1990–1991	2011–2012	1990–1991	2011–2012
Algodão	1.939	1.393,4	1.357	3.029	1.056	3.526
Amendoim	88	93,9	139	294,7	1.588	3.137
Arroz	4.233	2.426,7	9.997	11.600	2.362	4.780
Aveia	254	153	386	353,5	1.523	2.310
Centeio	5	2,3	8	3,5	1.442	1.522
Cevada	98	88,4	209	305,1	2.126	3.451
Feijão	5.504	3.262,1	2.808	2.918,4	510	895
Girassol	-	74,5	-	116,4		1.563
Mamona	239	128,2	135	24,8	560	193
Milho	13.451	15.178,1	24.096	72.980	1.791	4.808
Soja	9.742	25.042,2	15.395	66.383	1.580	2.651
Sorgo	195	786,9	295	2.221,9	1.512	2.824
Trigo	2.146	2.166,2	3.078	5.788,6	1.434	2.672
Triticale		46,9		112,2		2.392
Brasil	37.891	50.885,2	57.903	166.172,1	1.528	3.267

Nota: os valores estão arredondados.

Fonte: Conab (2013).

Tabela 2. Potencial para desenvolvimento sustentável da irrigação no Brasil, e porcentagem do total de cada região em relação ao total do Brasil.

Região	Área (mil hectares)			
	Várzeas	Terras altas	Total	%
Norte	9.298	5.300	14.598	49,4
Nordeste	104	1.200	1.304	4,4
Sudeste	1.029	3.200	4.229	14,3
Sul	2.207	2.300	4.507	15,2
Centro-Oeste	2.326	2.600	4.926	16,7
Total	14.964	14.600	29.564	100

Fonte: estudos desenvolvidos pelo MMA/SRH/DDH (1999) citado por Christofidis (2003).

que caracteriza a diversidade dos ecossistemas brasileiros e capacidades de suporte à expansão da agricultura irrigada de forma sustentável (Tabela 3).

A evolução da superfície dominada com sistemas de irrigação e drenagem destinados à agricultura, no Brasil, nos últimos 32 anos (1975–2006), demonstra crescimento de 1,1 para 4,45 milhões de hectares (Figura 2).

Os levantamentos das áreas irrigadas pelos diversos métodos e por estado, no Brasil (IBGE, 2006), indicam que em 2006 havia 4,454 milhões de hectares irrigados no País (Tabela 4).

A incorporação de áreas dominadas pelo método de irrigação localizada (gotejamento, microaspersão, etc.) elevou-se de 112.730 (1996), para 327.866 hectares (2006). Na região Nordeste, houve a expansão da área atendida com sistemas de irrigação localizada (gotejamento e microaspersão) de 55,2 mil hectares, em 1996, para uma superfície da ordem de 103 mil hectares, em 2006.

Os dados do período 1950–2000 foram reunidos por Christofidis (2003), sendo provenientes de levantamentos realizados pelas secretarias estaduais e do DF, responsáveis pela agricultura e irrigação, pelo Cadastro Nacional de Irrigantes do Proine/Proni, e por censos agropecuários decenais do IBGE.

As informações do período 2000 a 2012 são decorrentes de dados dos fabricantes de sistemas de irrigação associados à Câmara Setorial de Equipamentos de Irrigação (CSEI), da Abimaq, agrupados por tipo de sistema. Consideram os métodos/tipos de sistemas: irrigação por aspersão – pivô central, carretel enrolador e convencional (fixo, convencional, tubo PVC ou canhão); e irrigação localizada (gotejamento e microaspersão), com observações sobre as características de porte, áreas, porcentagens dos diversos sistemas/tipos de irrigação e tubulações adotadas.

Na safra de 2003–2004, pela primeira vez, as áreas irrigadas pelo método de irrigação por superfície foram igualadas pela soma das áreas atendidas pelos demais métodos de irrigação. O Censo Agropecuário, realizado pelo IBGE em 2006, mostra a irrigação pelo método por superfície sendo praticada em 30% da área irrigada do País (Tabela 4)

O valor estimado pela Agência Nacional de Águas (CONJUNTURA..., 2012) de área irrigada em 2010 foi de 5,4 milhões de hectares, 20% acima do estimado para 2006. O Informe de 2012 da ANA apresenta as áreas irrigadas em 2006 e em 2010 nas diversas regiões hidrográficas brasileiras. A Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil observou que todas as regiões hidrográficas apresentaram incremento da área

Tabela 3. Potencial para o desenvolvimento sustentável da irrigação no Brasil e nos estados.

Região/Estado	Área potencial (hectares)	Região/Estado	Área potencial (hectares)
Norte	14.598.000	Sudeste	4.229.000
Rondônia	995.000	Minas Gerais	2.344.900
Acre	615.000	Espírito Santo	165.000
Amazonas	2.852.000	Rio de Janeiro	207.000
Roraima	2.110.000	São Paulo	1.512.100
Pará	2.453.000	Sul	4.507.000
Amapá	1.136.000	Paraná	1.348.200
Tocantins	4.437.000	Santa Catarina	993.800
Nordeste	1.304.000	Rio Grande do Sul	2.165.000
Maranhão	243.500	Centro-Oeste	4.926.000
Piauí	125.600	Mato Grosso do Sul	1.221.500
Ceará	136.300	Mato Grosso	2.390.000
Rio Grande do Norte	38.500	Goiás	1.297.000
Paraíba	36.400	Distrito Federal	17.500
Pernambuco	235.200		
Alagoas	20.100		
Sergipe	28.200		
Bahia	440.200	Total do Brasil	29.564.000

Fonte: estudos desenvolvidos pelo MMA/SRH/DDH (1999).

irrigada, o que levou a sinalizar “para a necessidade de serem adotadas técnicas de irrigação que primem pelo uso eficiente da água no sentido de evitar conflitos futuros pelo uso da água”.

No Informe de 2012, a ANA (CONJUNTURA..., 2012) apresenta as áreas irrigadas em 2010, por região hidrográfica (Tabela 5).

A Agência afirma (CONJUNTURA..., 2012) que “apesar de a agricultura irrigada ser o principal uso consuntivo no País e, por isso, requerer maior atenção dos órgãos gestores, visando o uso racional de água, ela resulta em aumento da oferta de alimentos e preços menores em rela-

ção àqueles produzidos em áreas não irrigadas, devido ao aumento substancial de produtividade. Especialmente nas regiões onde o déficit hídrico é significativo, a irrigação constitui-se em fator essencial para a produção agrícola”.

Com base em trabalhos pontuais realizados em 1998, em diversos projetos públicos de irrigação e do Cadastro Nacional de Irrigantes, elaborados no âmbito do Proni e do Proine, foram obtidos os volumes de água derivados dos mananciais e os volumes de água efetivamente utilizados para o desenvolvimento da agricultura irrigada na parcela agrícola, por estado.

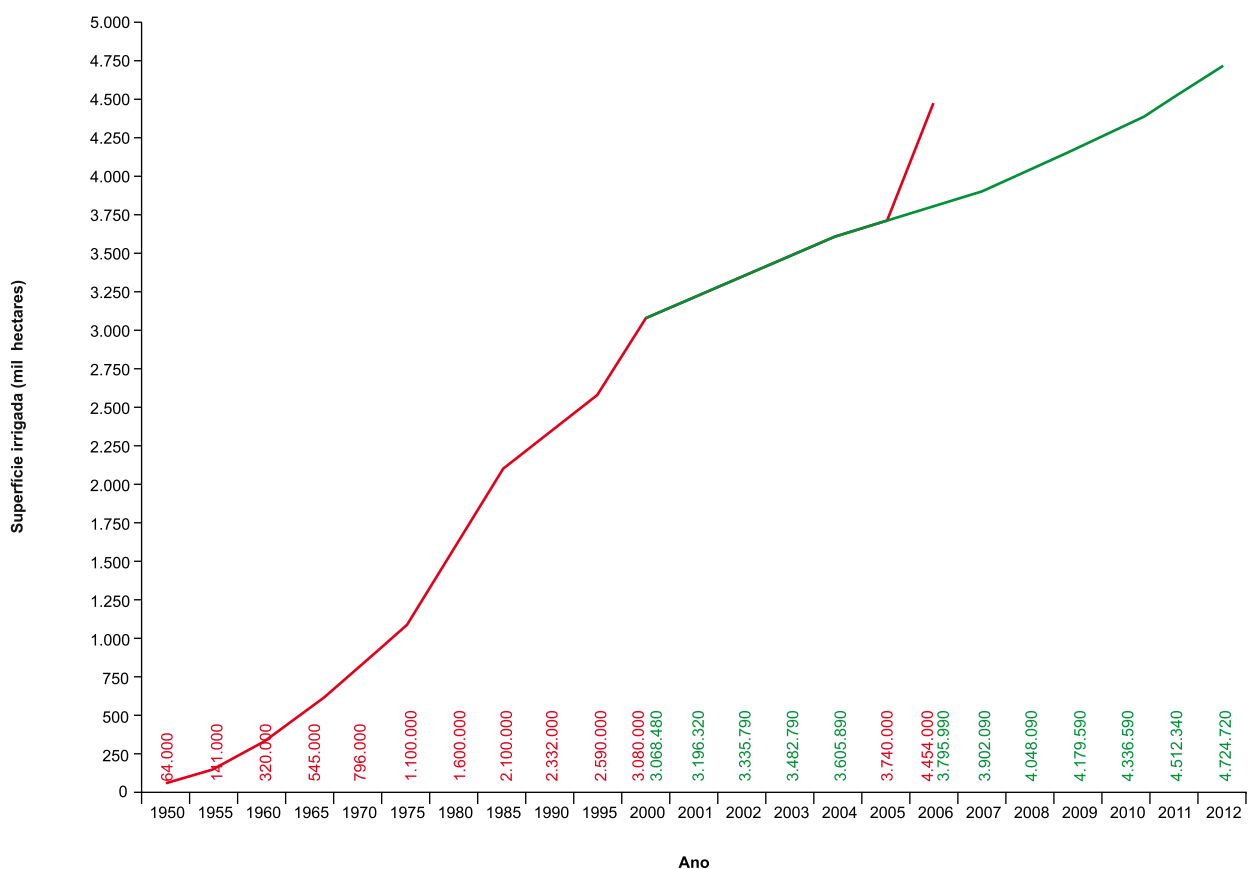


Figura 2. Evolução das áreas irrigadas no Brasil (1950–2012).

Fonte: período 1950–2000: consolidação de dados por Christofidis (2003); período 2000–2012: Abimaq/CSEI (Relatório da área irrigada no Brasil, 7 jan. 2013); ano 2006: IBGE (2006).

Para obtenção dos valores constantes no trabalho preliminar, foram consideradas as características de solos; os tipos e variedades de cultivos; os fatores de uso do solo; a adoção de cultivos permanentes ou temporários; as condições climáticas; as características regionais de precipitação (e adoção de chuva efetiva) – condições edafoclimáticas; a eficiência de condução, de distribuição e aplicação de água; os métodos, tipos e sistemas de irrigação; e fatores mais representativos, entre os que influenciam tal definição. O exercício baseado na combinação desses diversos componentes levou à sugestão, em 1998, de que o indicador médio de água derivada dos mananciais para atender à irrigação foi de 11.758 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ para o País.

Observou-se, também, que o volume da água que efetivamente era entregue na entrada das parcelas foi 7.330 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, resultando numa eficiência média de 65,26%. Portanto, cerca de 35% da água derivada para atender aos empreendimentos de irrigação no Brasil, em 1998, constituiu-se em perdas por condução e por distribuição nas infraestruturas hidráulicas situadas entre as captações e a “porteira” da propriedade produtiva (CHRISTOFIDIS, 2003).

Os dados recentes da Agência Nacional de Águas (CONJUNTURA..., 2012) indicam que em 2010, foram derivados 2.373 m³/s de água dos mananciais e que 54% da parcela dos recursos hídricos captados atenderam à prática da irrigação, o que possibilita sugerir que o indicador médio de água derivada dos mananciais

Tabela 4. Total das áreas irrigadas e áreas de acordo com métodos de irrigação, por estados, regiões e no Brasil, em 2006.

Região/ Estado	Áreas irrigadas (em hectares)						
	Total irrigado	Inundação	Sulco	Pivô central	Aspersão	Localizado	Outros métodos
Brasil	4.453.925,11	1.084.736,46	256.668,27	840.048,09	1.572.960,21	327.866,52	371.647,08
Norte	107.789,21	34.309,82	3.906,57	8.777,65	30.277,21	5.017,65	25.500,35
Rondônia	14.129,81	951,64	893,64	718,40	8.871,51	843,74	1.850,91
Acre	1.453,61	x	27,63	-	68,21	40,00	1.313,77
Amazonas	6.132,97	977,84	39,61	x	400,04	473,18	4.175,94
Roraima	12.995,68	11.447,30	148,40	x	293,79	26,75	959,44
Pará	29.332,80	3.375,55	1.733,85	2.087,55	7.917,33	2.283,55	11.934,98
Amapá	2.404,21	146,01	16,07	-	375,11	54,65	1.812,37
Tocantins	41.340,13	17.407,48	1.047,37	5.785,34	12.351,22	1.295,78	3.452,94
Nordeste	985.347,63	69.619,24	109.713,27	201.281,62	407.769,80	102.969,96	93.994,80
Maranhão	63.929,96	4.461,16	4.600,28	8.773,62	29.223,68	1.994,31	14.876,90
Piauí	22.272,01	7.330,09	3.302,47	1.271,00	2.769,22	2.830,08	4.769,06
Ceará	117.059,32	21.363,76	11.812,81	4.998,91	34.609,72	18.357,39	25.916,96
Rio Grande do Norte	54.715,68	3.457,21	3.256,98	7.926,25	27.231,17	9.748,62	3.095,42
Paraíba	58.683,27	3.789,25	4.613,64	9.834,00	33.525,43	3.789,01	3.131,96
Pernambuco	152.917,07	6.324,81	21.035,72	20.887,27	73.264,14	17.828,41	13.576,79
Alagoas	195.764,03	2.057,74	3.065,96	73.040,85	110.048,75	3.866,39	3.684,39
Sergipe	20.520,82	3.774,59	1.842,15	5.509,63	5.524,03	3.023,68	846,81
Bahia	299.485,47	17.060,63	56.183,26	69.040,09	91.573,66	41.532,07	24.096,51
Sudeste	1.586.744,28	27.744,15	28.319,57	395.586,69	736.589,45	192.814,12	205.690,56
Minas Gerais	525.250,31	11.586,95	11.663,85	166.690,79	168.059,49	66.330,13	100.919,19
Espírito Santo	209.801,09	3.071,96	2.253,64	23.318,94	115.535,24	51.534,16	14.087,23
Rio de Janeiro	81.682,12	2.822,89	5.525,20	11.339,16	43.974,67	3.532,09	14.488,09
São Paulo	770.010,76	10.262,35	8.876,88	194.237,80	409.020,05	71.417,74	76.196,05
Sul	1.224.578,11	923.825,92	82.547,73	61.348,91	108.426,62	17.653,54	30.775,48
Paraná	104.244,36	12.100,03	2.452,79	15.542,29	56.035,01	6.321,62	11.792,70
Santa Catarina	136.248,57	98.532,46	10.947,86	1.019,60	19.159,85	2.430,40	4.158,41
Rio Grande do Sul	984.085,18	813.193,43	69.147,08	44.787,02	33.231,76	8.901,52	14.824,37
Centro-Oeste	549.465,88	29.237,33	32.181,13	173.053,22	289.897,13	9.411,25	15.685,89
Mato Grosso do Sul	116.611,71	20.067,64	17.840,31	26.026,43	49.201,66	864,33	2.611,35
Mato Grosso	148.424,55	963,00	1.397,27	30.909,04	106.505,70	2.459,85	6.189,71
Goiás	269.921,26	8.180,72	12.738,97	108.509,69	129.387,38	4.597,92	6.506,60
Distrito Federal	14.508,36	25,97	204,58	7.608,06	4.802,39	1.489,15	378,23

Fonte: IBGE (2006).

Tabela 5. Áreas irrigadas por região hidrográfica em 2010.

Região hidrográfica	Área (hectares)	Região hidrográfica	Área (hectares)
Amazônica	127.320	Atlântico Leste	304.831
Tocantins	230.197	Atlântico Sudeste	359.083
NE Ocidental	36.931	Atlântico Sul	714.112
Parnaíba	63.736	Paraná	1.811.383
NE Oriental	539.531	Uruguai	451.854
São Francisco	674.186	Paraguai	72.577
Total do Brasil (hectares)		5.400.000	

Fonte: Conjuntura... (2012).

para atender à finalidade de irrigação seja de $7.481 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. O Informe 2012 da ANA (CONJUNTURA..., 2012) apresenta que a água que foi efetivamente consumida pelos diversos usos, em 2010, foi de $1.212 \text{ m}^3/\text{s}$, sendo de 72% a parcela destinada para irrigação. Tais informações levam a considerar que a água efetivamente utilizada pelos cultivos irrigados em 2010 no Brasil seja de $5.096 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Tais valores são 30% inferiores aos que foram estimados em 1998 (CHRISTOFIDIS, 2003), mostrando que nos últimos 12 anos ocorreu efetivamente a opção, pelos produtores irrigantes, de melhorias no manejo e na adoção de métodos e sistemas com equipamentos inovadores e tecnologias, apresentando resultados com otimização do uso da água na irrigação.

Conclusões e recomendações

Desde a Reunião sobre o Meio Ambiente – Rio 92 –, conforme a Agenda 21, foi proposto o programa Água para Produção de Alimentos e Desenvolvimento Rural Sustentáveis, o qual considerou que:

A sustentabilidade da produção de alimentos depende cada vez mais de práticas saudáveis e eficazes de uso e conservação da água, entre as quais se destaca o desenvolvimento e manejo da irrigação, inclusive o manejo das

águas em zonas de agricultura de sequeiro, o suprimento de água para a criação de animais, aproveitamentos pesqueiros de águas interiores e agrosilvicultura. Alcançar a segurança alimentar constitui uma alta prioridade em muitos países e a agricultura não deve apenas proporcionar alimentos para populações em crescimento, mas também economizar água para outras finalidades (PROTEÇÃO..., 1992).

Os especialistas do tema água e agricultura alertam sobre a expansão da irrigação e o risco de obstáculos pelas dificuldades em obter água em disponibilidade suficiente para atender tanto às atuais áreas produtivas como aos novos empreendimentos. Destacam que o crescente uso da água para produzir alimentos – em face da retirada de água da agricultura irrigada para atender às necessidades do meio urbano, da produção industrial e das exigências ambientais que são cada vez maiores – determina a necessidade de obter melhorias no manejo da agricultura irrigada e da drenagem agrícola, e na eficiência dos métodos/sistemas de irrigação.

As propostas emergentes de alternativas ao desenvolvimento sustentável da irrigação são de incentivo à reconversão de sistemas de irrigação que apresentam baixa eficiência, para métodos/sistemas de irrigação adaptados aos cultivos de maior retorno e apropriados ao uso racional de energia e otimização do uso de água.

Entre as medidas associadas à água, irrigação e desenvolvimento sustentável, recomendam-se as que seguem.

No âmbito nacional estadual e regional

- Elaborar e implementar planos nacionais estaduais e regionais de agricultura irrigada.
- Elaborar e executar programas e projetos de irrigação integrados, orientados e hierarquizados com base nos planos diretores de bacias hidrográficas.
- Definir ações conjuntas do setor de irrigação com os Comitês de Bacias Hidrográficas e entidades estaduais, com participação efetiva nas decisões, de modo a facilitar e agilizar a implementação e integração dos instrumentos da política nacional e das estaduais de recursos hídricos, com a política nacional de irrigação.
- Participar efetivamente do setor de irrigação nos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos, no Conselho Nacional de Recursos Hídricos e no Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama).
- Estudar as potencialidades e aptidões para desenvolvimento sustentável da irrigação, com difusão dos proprietários/produtores das áreas com vocações à adoção da agricultura irrigada, e incentivo a eles.

No âmbito dos sistemas coletivos de irrigação

- Fortalecer as organizações de irrigantes.
- Definir e implementar amplo programa de desenvolvimento de capacidades e de condições de elevação da adesão dos agricultores à prática da irrigação.

- Definir e implantar amplo programa de inovação e pesquisa com base nas potencialidades e vocações regionais/locais, associando-o aos trabalhos de assistência técnica, extensão rural e projetos demonstrativos/vitrines.
- Definir e executar amplo programa de projetos demonstrativos/vitrines integrado com o programa de desenvolvimento de capacidades para agricultura irrigada e de indução à adoção da prática da agricultura irrigada.
- Unificar os procedimentos de licenciamento ambiental e de outorga do uso da água na agricultura e pecuária pelos produtores que adotam a irrigação, visando à agilização dos trâmites.
- Proporcionar infraestruturas hídricas de suporte aos agricultores nas regiões com terras que apresentam aptidão para o desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada.

No âmbito da parcela agrícola sob irrigação

- Selecionar e plantar cultivos e variedades com maior produtividade por quantidade de água aplicada.
- Adotar métodos/tipos de sistemas de irrigação que propiciem facilidade no manejo para as condições dos irrigantes, dos solos, do clima, dos cultivos e dos consumidores, e que resultem em otimização do uso da água.
- Praticar o consórcio de cultivos, de maneira a plantar nos espaçamentos entre as fileiras, propiciando melhor utilização da umidade dos solos por diversas culturas.
- Adotar defasagem no calendário do plantio de cultivos temporários, de modo a evitar a exigência simultânea de água que ocorre ao longo dos diversos

estádios de desenvolvimento dos cultivos.

- Aplicar água conforme a necessidade em cada fase de desenvolvimento dos cultivos, observando a evapotranspiração e a chuva efetiva.
- Na irrigação por superfície: sistematizar os solos para melhoria da uniformidade de aplicação, redução das vazões aplicadas e diminuição das perdas por escoamento superficial e por percolação profunda.
- Na irrigação por aspersão: usar aspersores apropriados para cada situação, buscando melhor uniformidade de aplicação de água, precisão e pressões adequadas, reduzindo perdas por evaporação e por ação do vento.
- Estudar a possibilidade de usar a irrigação localizada (gotejamento e microaspersão) onde for viável com objetivo de melhorar o manejo e reduzir a necessidade de água para irrigação.
- Aperfeiçoar as operações do sistema de irrigação com programações de fornecimento de água de acordo com o estágio de desenvolvimento dos cultivos e do clima.
- Melhorar a manutenção das infraestruturas hídricas e dos equipamentos para evitar vazamentos, perdas, e funcionamentos de componentes e do sistema de irrigação que sejam incompatíveis com os rendimentos e eficiências operacionais elevadas.
- Criar condições e bacias de indução à infiltração da água, para redução de perdas por escoamento superficial e por evaporação, e propiciando a manutenção de umidade na zona radicular dos cultivos.
- Desenvolver a capacidade dos produtores em relação a aspectos associados ao manejo da agricultura e pecuária irrigada e da drenagem agrícola.

Referências

- BRUINSMA, J. **The resource outlook to 2050: by how much do land, water and crop yields need to increase by 2050?** Roma: FAO, 2009.
- BUNN, S. E.; ARTHINGTON, A. H. Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. **Environmental Management**, New York, v. 30, n. 4, p. 311-318, Oct. 2002.
- CHRISTOFIDIS, D. Água, ética, segurança alimentar e sustentabilidade ambiental. **Bahia: Análise e Dados**, Salvador, v. 13, n. especial, p. 371-382, 2003.
- CHRISTOFIDIS, D. Recursos hídricos, irrigação e segurança alimentar. In: FREITAS, M. A. V. de. **O estado das águas no Brasil, 2001-2002**. Brasília, DF: Agência Nacional de Águas, 2003. p. 111-134.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, quarto levantamento: 2012/2013**. Brasília, DF, 2013. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_01_09_17_44_20_boletim_graos_janeiro_2013.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2013.
- CONGROVE, C. E.; COSGROVE, W. J. (Org.). **The dynamics of global water futures: driving Forces 2011 - 2050**. Paris: Unesco, 2012. (Global water futures 2050, 02).
- CONJUNTURA dos recursos hídricos no Brasil: informe 2012. Brasília, DF: ANA, 2012.
- FAO. Food and Agricultural Organization of the United Nations. **Hunger**. Disponível em: <www.fao.org/hunger>. Acesso em: 17 jul. 2011.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2006: Brasil, grandes regiões e unidades da federação**. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/default.shtm>>. Acesso em: 27 fev. 2013.
- MOLDEN, D. **Water for food, water for life: a comprehensive assessment of water management in agriculture**. London: Earthscan: International Water Management Institute, 2007.
- PINAY, G.; CLEMENT, J. C.; NAIMAN, R. J. Basic principles and ecological consequences of changing water regimes on nitrogen cycling in fluvial systems. **Environmental Management**, New York, v. 30, n. 4, p. 481-491, Oct. 2002.
- SOUZA, C.; AGRA, S.; TASSI, R.; COLLISCHONN, W. Desafios e oportunidades para a implementação do hidrograma ecológico. **Rega**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 25-38, jan./jun. 2008.

UN DESA. United Nations, Department of Economic and Social Affairs. **World population prospects: the 2008 revision, highlights.** New York, 2009. (Working paper, ESA/P/WP.210).

UN WATER. World Water Assessment Programme. **Water in a changing world: facts and figures.** Paris: Unesco;

Londres: Eartscan, 2009. (World Water Development Report 3).

WWF GLOBAL. **The energy report: 100% renewable energy by 2050.** Disponível em: <http://wwf.panda.org/what_we_do/footprint/climate_carbon_energy/energy_solutions/renewable_energy/sustainable_energy_report/>. Acesso em: 2 maio 2011.

Razão ótima de *hedge* para soja em Goiás e Mato Grosso¹

João Antônio Vilela Medeiros²

Cleyzer Adrian da Cunha³

Alcido Elenor Wander⁴

Resumo – O objetivo geral deste trabalho foi estimar a razão ótima de *hedge* como forma de gestão de investimentos em contratos de soja em grão no município de Sorriso, MT, e na região de Rio Verde, GO. As regiões foram escolhidas pela importância de suas respectivas produções no contexto nacional de comercialização de grãos, tendo Mato Grosso como o principal produtor nacional e o município de Rio Verde como maior produtor em Goiás. Os resultados mostram que Rio Verde e Sorriso devem fazer *hedge* de 53,88% e 69,44% da produção no mercado *spot* para terem 42,47% e 52,85% de efetividade, respectivamente. A simulação de *bootstrapping* mostrou também a disparidade nos resultados da razão ótima de *hedge*, em que, das 1.000 repetições, cerca de 700 repetições se concentraram acima de 54% para Rio Verde. Já para Sorriso, as simulações mostraram que 950 das 1.000 repetições concentraram-se acima de 69% para a razão ótima de *hedge*. Por conseguinte, o produtor de soja de Sorriso está mais exposto ao risco; portanto, este deve fazer *hedge* de maior percentual da sua produção tanto no mercado físico como no futuro.

Palavras-chave: comercialização de soja, mercado de futuros, risco de mercado.

Optimal hedge ratio for soybeans in Goiás and Mato Grosso

Abstract – The overall objective of this study was to estimate the optimal hedge ratio as a form of investment management of grain soybean contracts in the municipality of Sorriso, state of Mato Grosso, Brazil, and in the municipality of Rio Verde, state of Goiás, Brazil. These regions were chosen because of the importance of their production rates in the national context of grain trade. Mato Grosso is the leading Brazilian producer, and Rio Verde is the main producer in Goiás. The results show that Rio Verde and Sorriso should hedge, respectively, 53.88 percent and 69.44 percent of their spot market production to have 42.47 percent and 52.85 percent effectiveness, respectively. The bootstrapping simulation also showed the disparity in the results of the optimal hedge ratio. Out of the 1,000 repetitions about 700 repetitions were above 54 percent for Rio Verde. For Sorriso, the same simulations showed that 950 of the 1,000 repetitions were above 69 percent for optimal hedge

¹ Original recebido em 6/10/2012 e aprovado em 26/11/2012.

² Engenheiro-agrônomo, mestrando em Agronegócio pela Universidade Federal de Goiás (UFG). E-mail: joaoantonio_vm@yahoo.com.br

³ Economista, Doutor em Economia Aplicada, professor da Universidade Federal de Goiás (UFG). E-mail: cleyze@yahoo.com.br

⁴ Engenheiro-agrônomo, Doutor em Ciências Agrárias, pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão. E-mail: alcido.wander@embrapa.br

ratio. Therefore, the soybean producers in Sorriso are more exposed to risk, so they should hedge a higher percentage of their production both in the physical and the futures market.

Keywords: soybean trade, futures market, market risk.

Introdução

A cultura da soja possui grande importância no cenário nacional e internacional, visto que o Brasil é o segundo maior produtor e exportador do grão no mundo. Ao longo dos últimos anos, houve um aumento da importância dada à cultura, em virtude do significativo aumento de produção por meio dos incrementos de produtividade associados a avanços tecnológicos e à eficiência dos produtores. A demanda pelo produto e subprodutos está em forte expansão já que o grão é amplamente utilizado para a fabricação de rações animais e, em menor escala, para a alimentação humana. Atualmente a soja é um dos principais produtos da agricultura brasileira e é de grande importância para a balança comercial brasileira.

De 1997 a 2009 o valor das exportações de produtos do complexo da soja representou 22,7% do total das exportações do agronegócio nacional, e 9,1% das exportações totais do país. O saldo comercial obtido em 2009 pela cultura representou 31,34% do total obtido pelo agronegócio e 67,94% do total do país. As exportações da soja em grão, nesse período, apresentaram crescimento anual de 16,52%; esse aumento foi essencial para que a economia brasileira atingisse os saldos comerciais positivos que foram fundamentais para equilibrar a balança comercial do país (LAZZAROTTO; HIRAKURI, 2010).

O Brasil ocupa uma posição de grande exportador de produtos do agronegócio e, portanto, sua balança comercial possui grande dependência das exportações de origem agropecuária. Visto que a balança comercial dos demais setores da economia brasileira tende a saldos negativos, já que o país é um grande importador de produtos de outros setores, a produção e comercialização da soja e seus derivados respondem por uma expressiva parcela do co-

mércio internacional; assim, a soja também é um dos grandes responsáveis pela dinamização da economia nacional.

Apesar de a soja ser um produto com mercado mundialmente bem definido e estruturado, os preços do grão e de seus derivados (farelo e óleo) apresentam elevadas oscilações de preço na Bolsa de Chicago (CME Group). Esse comportamento do mercado está associado aos riscos e incertezas que envolvem a oferta e demanda de produtos agrícolas, além da forte influência das transações efetuadas por fundos de investimento especulativos que afetam o mercado de derivativos agropecuários, do qual a soja faz parte.

As commodities, de maneira geral, apresentam grandes oscilações de preços no mercado mundial. Por isso, Zilli et al. (2008) consideram que as estimativas de rentabilidade por parte dos produtores ficam prejudicadas, e, por consequência, a gestão dos resultados das atividades agropecuárias se torna um desafio para os empresários do agronegócio. No entanto, a análise do desempenho das atividades e a mensuração dos resultados são imprescindíveis para o planejamento e gerenciamento dos riscos inerentes à atividade. A negociação em mercados futuros, nesse contexto, é instrumento de mercado que permite reduzir o risco de variações de preços de produtos com mercados voláteis e administrar perdas potenciais.

As negociações realizadas nas bolsas de mercadorias e mercados futuros, com destaque para as operações de *hedge* – que para a soja vem aumentando o volume negociado, exceto em 2010 (BM&FBOVESPA, 2011) –, buscam a manutenção de um preço que garanta a permanência na atividade por meio da obtenção de um preço alvo e, por consequência, a minimização das perdas (OLIVEIRA NETO; FIGUEIREDO, 2009).

Por conseguinte, o uso dos instrumentos de comercialização em mercados futuros permite a proteção contra riscos de oscilação nos preços por meio das operações de *hedge*. O mecanismo de *hedge* permite ao produtor garantia alternativa de financiamento e ainda concede aumento da competitividade, pela alocação eficiente de recursos e redução nos custos de transação.

Não obstante o apontado acima, nesses casos o objetivo do produtor é maximizar seus retornos por meio de uma carteira de investimentos composta por dois ativos – um é sua posição no mercado futuro, e o outro é sua posição no mercado físico.

Ao realizar-se uma operação de *hedge* por meio de contratos futuros, é necessário definir qual proporção da produção física será negociada no mercado futuro, ou seja, um ponto ótimo de *hedge* que minimize o risco nos dois mercados (SANTOS et al., 2008).

A definição de uma razão ótima de *hedge* (ROH) contribui para o planejamento financeiro dos produtores à medida que facilita a estimação do preço do produto que será negociado e permite ao produtor predeterminar o preço mínimo de venda do grão, eliminando parte do risco relacionado às flutuações de preço.

Com base no que foi exposto anteriormente, o objetivo geral do trabalho é estimar a razão ótima de *hedge* como forma de gestão de investimentos em contratos de soja em grão em Sorriso, MT, e na região de Rio Verde, GO.

As regiões foram escolhidas pela importância de suas respectivas produções no contexto nacional de comercialização de grãos, tendo Mato Grosso como o principal produtor nacional e o município de Rio Verde como maior produtor em Goiás.

Assim sendo, o estudo está dividido em cinco partes. A primeira consiste na introdução; a segunda trata da metodologia de estudo; a terceira, do modelo econométrico; na quarta apresentam-se os resultados e discussões; e finalmente são apresentadas as considerações finais.

Razão ótima de *hedge*

A razão ótima de *hedge* refere-se à proporção de contratos negociados via bolsa em relação ao total de contratos de venda. Essa razão é de extrema importância na medida em que pode determinar o montante de custos e benefícios da operação, pois esses fatores são dependentes do volume negociado (HULL, 1966, citado por ALVES; SERRA, 2008). Encontrar uma proporção que minimize o risco nos dois mercados por meio do *hedge* ótimo ou de mínima variância é uma das formas de gerir os riscos. Pode-se considerar o *hedge* perfeito quando a correlação entre o preço *spot* e o preço futuro for positiva e igual a 1. Nesse caso, haverá convergência entre o preço futuro e preço do mercado físico. No entanto, quando as oscilações entre o preço *spot* e o preço futuro são diferentes, a correlação entre os dois preços é negativa. Logo, não há convergência entre os respectivos preços (SANTOS et al., 2008).

De acordo com Rodrigues e Alves (2010), grande parte dos trabalhos que tratam da definição da razão ótima de *hedge* no Brasil utilizam metodologias que são derivadas das propostas realizadas por Ederington (1979) e Myers e Thompson (1989). Esses autores realizaram estudos com base em propostas de *hedge* estático, em que se obtém a razão ótima de *hedge* (ROH) pelo método de mínimos quadrados ordinários (MQO) e processos autorregressivos (AR). Existem ainda outros autores que consideram o *hedge* dinâmico e estimam a ROH com métodos GARCH multivariados.

Quanto a Goiás, o estudo feito por Oliveira Neto et al. (2009) mostrou que prevalecem distintos ROHs nos períodos de safra e entressafra. O período de estudo considerado pelos autores foi de outubro de 2002 a maio de 2007, em que o melhor modelo econométrico ajustado mostrou que 85,09% da posição no mercado físico deve ser negociada como *hedge* na BM&F Bovespa; e esse valor se reduz para 80,97% no período de entressafra. A carteira submetida a *hedge* com base nessas proporções permitiu a diminuição do risco de preços em 70,36%

(OLIVEIRA NETO et al., 2009, citados por RODRIGUES; ALVES, 2010).

Alves et al. (2010), ao analisarem o *hedge* para o café arábica para as regiões de Caratinga, MG e São Sebastião do Paraíso, MG, chegaram à ROH de 64,7% para Caratinga e 66% para São Sebastião do Paraíso. Isso mostra que se fossem utilizadas as operações no mercado futuro, haveria uma redução do risco no período de comercialização, em que o valor do ROH poderia mitigar 65% do risco associado à volatilidade de preços. Então, como a ROH é menor que um, é necessária uma quantidade menor de contratos futuros do ativo real para se proteger das oscilações de determinada quantidade no mercado à vista.

Considerando-se a comercialização da soja em grão no mercado físico em Goiás de 2002 a 2005, Santos et al. (2008), por meio do modelo de *hedge* de variância mínima, verificaram a existência de redução de risco à medida que se adicionam contratos futuros de soja a carteiras que já comercializam soja no mercado *spot*. Os resultados mostraram que Goiás deveria fazer *hedge* de 44% de sua produção. Essa estratégia apresentou uma efetividade de 35%.

Tonin e Alves (2005), partindo da metodologia utilizada por Myers e Thompson (1989), analisaram as séries de preços do milho relativas a janeiro de 2002 a novembro de 2004 e verificaram ROH de 6,2%, quando se utiliza a série de preços diária; 12,34% para a série semanal; e 40,78% para a série de preços mensal. Com base nessa constatação os autores afirmam que a ROH é maior quando as séries de preços se referem a períodos de tempo maiores.

As variações de curto prazo nas séries de preços podem ser eliminadas ou amenizadas com um período de tempo maior. Dessa maneira, a variância dos preços futuros tende a diminuir, o que pode contribuir para o aumento da razão ótima de *hedge*, já que a ROH é a razão da covariância entre as mudanças de preços no mercado *spot* e no futuro pela covariância dos preços no mercado futuro (AGUIAR; LIMA, 2002, citados por TONIN; ALVES, 2005).

Hedge de Variância Mínima (HVM)

Segundo Hull (2005), a receita do *hedge* é dada por

$$Rh = S(P_t - P_{t-1}) - F(f_t - f_{t-1}) \quad (1)$$

Em caso de *hedge* de venda:

Rh = receita da carteira.

S = posição no mercado físico.

F = posição no mercado futuro.

P_t = preço de compra no mercado *spot* no tempo t .

P_{t-1} = preço de venda no mercado físico no tempo $t - 1$.

f_t = cotação referente à venda de contrato futuro realizada no tempo t com vencimento futuro.

f_{t-1} = cotação referente à compra de contrato futuro para encerrar sua posição com vencimento futuro.

Dividindo-se os dois lados por S , tem-se

$$\frac{Rh}{S} = (p_t - p_{t-1}) - F(f_t - f_{t-1}) \quad (2)$$

A razão ótima de *hedge* é dada por $h=F/S$, ou seja, é a razão entre a posição no mercado futuro e a posição no mercado físico – a razão é ótima porque minimiza a variância da receita do *hedge*.

A variância da receita da operação de *hedge* é dada por

$$\sigma_h^2 = \sigma_p^2 - 2h\sigma_{pf} + h^2\sigma_f^2 \quad (3)$$

Derivando-se a equação 3 com relação a h e igualando-se a zero, obtém-se

$$\frac{d\sigma_h^2}{dh} = -2\sigma_{pf} + 2h\sigma_f^2 = 0$$

$$2h\sigma_f^2 = 2\sigma_{pf}$$

$$h^* = \frac{\sigma_{pf}}{\sigma_f^2} \quad (4)$$

σ_{pf} = covariância entre variações de preço no mercado físico e no mercado futuro.

σ_f^2 = variância da variação do preço no mercado futuro.

A divisão da covariância entre as variações dos preços no mercado físico e no mercado futuro pela variância da variação dos preços futuros mostra a razão ótima de *hedge* que minimiza a variância da receita deste, conforme a equação 4.

Substituindo-se a equação 4 na equação 3 tem-se que a variância do *hedge* ótimo é

$$\begin{aligned}\sigma_{h}^2 &= \sigma_p^2 - 2h^* + \sigma_{pf} + h^{*2} \sigma_f^2 \\ \sigma_{h}^2 &= \sigma_p^2 - 2 \left(\frac{\sigma_{pf}}{\sigma_f^2} \right) \sigma_{pf} + \left(\frac{\sigma_{pf}}{\sigma_f^2} \right)^2 \sigma_f^2 \\ \sigma_{h}^2 &= \sigma_p^2 - 2 \left(\frac{\sigma_{pf}^2}{\sigma_f^2} \right) + \left(\frac{\sigma_{pf}^2}{\sigma_f^2} \right) \\ \sigma_{h}^2 &= \sigma_p^2 - \left(\frac{\sigma_{pf}^2}{\sigma_f^2} \right)\end{aligned}\quad (5)$$

σ_{h}^2 = variância da receita da carteira com a razão ótima de *hedge*.

σ_p^2 = variância da receita da carteira sem *hedge*.

A efetividade do *hedge* é dada pela proporção da variância da receita que pode ser eliminada por meio da utilização da carteira com h^* :

$$(E) = 1 - \frac{\sigma_{h}^2}{\sigma_p^2}\quad (6)$$

A partir desse ponto percebe-se que se $\sigma_{h}^2 = \sigma_p^2$, o valor da efetividade é 0, mas se $\sigma_{h}^2 = 0$, obtém-se o nível de efetividade máxima com o *hedge*, que é igual a 1.

Substituindo-se a equação 5 na equação 6, tem-se que

$$\begin{aligned}(E) &= 1 - \left(\frac{\sigma_p^2 - \left(\frac{\sigma_{pf}}{\sigma_f} \right)^2}{\sigma_p^2} \right) \\ (E) &= 1 - \frac{\sigma_p^2}{\sigma_p^2} + \frac{\left(\frac{\sigma_{pf}^2}{\sigma_f^2} \right)}{\sigma_p^2} \\ (E) &= \frac{\sigma_{pf}^2}{\sigma_f^2 \sigma_p^2} \\ (E) &= \rho^2\end{aligned}\quad (7)$$

ρ = coeficiente de correlação entre as alterações nos preços à vista e no mercado futuro.

A efetividade do *hedge* utilizando-se a sua razão ótima (h^*) é o quadrado do coeficiente de correlação entre as alterações nos preços à vista e a futuro, permanecendo a condição de nível mínimo de efetividade 0 e nível máximo de efetividade com a operação igual a $0 \leq (E) \leq 1$. Assim, em uma regressão simples ($Y_t = \beta_0 + \beta_1 X_t + \varepsilon_t$) que pode ser estimada por Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), o coeficiente de inclinação (β_1) é igual à covariância entre a variável dependente e a variável independente dividida pela variância da variável independente; logo tem-se h^* por meio do valor de β_1 . Em uma mesma regressão simples, o coeficiente de determinação (R^2) é o quadrado do coeficiente de correlação (ρ^2); com isso tem-se a efetividade do *hedge*.

Fonte de dados

Os dados utilizados para a realização do trabalho foram as séries de preços de soja para os municípios de Sorriso, MT e Rio Verde, GO, e da BM&FBOVESPA, adquiridas do Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária (Imea) (2011)⁵, Agência Estado (2011)⁶ e BM&FBOVESPA (2011), respectivamente. O período analisado foi de 2005 a 2010, utilizando-se as datas de fechamento do contrato de soja na BM&FBOVESPA – o mesmo aconteceu para os preços dos municípios.

Os preços coletados da BM&FBOVESPA (2011), cotados em dólar, foram convertidos para o real utilizando-se a cotação da PTAX do Banco Central do mesmo dia de vencimento do contrato de soja. Destaca-se que a partir do dia 27/1/2011 o contrato de soja passou a ser um contrato apenas com a liquidação financeira, portanto, sem a possibilidade de entrega física do produto. Um contrato de soja financeiro denominado SFI é composto por 450 sacas de 60 kg ou 27 toneladas métricas.

⁵ Dados obtidos diretamente do Imea, em 2011.

⁶ Dados obtidos diretamente da Agência Estado, em 2011

Modelo empírico

Para a estimação da razão ótima de *hedge* (ROH) e da efetividade do *hedge* foram utilizados cinco modelos de mínimos quadrados ordinários (MQO), descritos a seguir:

Modelo 1

O modelo 1 pode ser representado pela equação 8:

$$S_t = \alpha + \beta F_t + \varepsilon_t \quad (8)$$

em que S_t representa os retornos do preço físico; α , o intercepto da equação; F_t , os retornos dos preços no mercado futuro de soja; β , a razão ótima de *hedge*; e ε_t , o termo de erro.

Modelo 2

O modelo 2 é também chamado de equação de Engle e Granger, que é representada pela equação 9:

$$\Delta S_t = \alpha + \beta \Delta F_t + \varepsilon_t \quad (9)$$

em que ΔS_t representa os retornos do preço físico; ΔF_t , os retornos dos preços no mercado futuro de soja; β , a razão ótima de *hedge*; e ε_t , o termo de erro.

Modelo 3

O modelo 3, também conhecido como modelo de Myers e Thompson (1989), está representado na equação 10:

$$\Delta S_t = \alpha + \delta \Delta F_t + \sum_{i=1}^p \beta \Delta S_{t-i} + \varepsilon_t \quad (10)$$

em que ΔS_t representa os retornos do preço físico; ΔF_t , os retornos dos preços no mercado futuro de soja; δ , a razão ótima de *hedge*; $\sum_{i=1}^p \beta \Delta S_{t-i}$, o preço físico defasado; e ε_t , o termo de erro.

Modelo 4

No modelo 4 é acrescentado o mecanismo de correção de erro ao modelo de Engle e Granger, e está representado pela equação 11:

$$\Delta S_t = \alpha + \beta \Delta F_t + u_{t-1} + \varepsilon_t \quad (11)$$

em que ΔS_t representa os retornos do preço físico; ΔF_t , os retornos dos preços no mercado futuro de soja; u_{t-1} , a razão ótima de *hedge*; e ε_t , os

resíduos defasados gerados pela equação 2; e ε_t , o termo de erro.

Modelo 5

O modelo 5 é um apêndice do modelo de Myers e Thompson, sendo acrescentada a defasagem do preço futuro da soja, e é evidenciado na equação 12:

$$\Delta S_t = \alpha + \delta \Delta F_t + \sum_{i=1}^p \beta \Delta S_{t-i} + \gamma \Delta F_{t-1} + u_t \quad (12)$$

sendo ΔS_t o preço à vista na primeira diferença do tempo t ; δ a razão ótima de *hedge*; ΔF_t o preço futuro na primeira diferença do tempo t ; γ , o coeficiente estimado para os preços futuros defasados em um período; ΔS_{t-1} , o preço à vista no momento $t-1$; ΔF_{t-1} o preço futuro no momento $t-1$; e u_t o termo de erro.

Para a estimação da ROH é necessário fazer alguns testes com as séries para verificar se é possível fazer tal estimativa. O primeiro deles visa analisar se as séries são estacionárias com o teste para verificar a presença de raiz unitária, pelo método de Dickey-Fuller aumentado.

Para a obtenção final da ROH e da efetividade do *hedge* serão verificados os critérios de Akaike e de Schwarz em cada um dos modelos citados, e será utilizado o que apresentar os menores valores dos critérios. Para a obtenção dos resultados desses testes e da razão ótima de *hedge* foi utilizado o software Eviews versão 7.0.

Resultados e discussão

Com base nos dados avaliou-se a presença de raiz unitária nas séries com o teste de Dickey-Fuller aumentado. No teste verificou-se que as séries foram estacionárias em primeira diferença, sem tendência e sem intercepto, e foram significativas a 1%, como pode ser visto na Tabela 1.

Após a verificação da estacionariedade das três séries, iniciou-se a aplicação dos cinco modelos com os preços de Sorriso, de Rio Verde e da BM&F. A escolha do modelo apropriado foi avaliada com base nos critérios de informação de Akaike (AIC) e de Schwarz (SC).

Tabela 1. Valores do teste de Dickey-Fuller aumentado para as séries de preços.

Estatística do teste de Dickey-Fuller aumentado		BMF	MT	GO
		-8,005088	-6,396577	-6,710198
Valores críticos do teste	Nível de 1%	-3,584743*	-3,584743*	-3,584743*
	Nível de 5%	-2,928142	-2,928142	-2,928142
	Nível de 10%	-2,602225	-2,602225	-2,602225

* Significativo a 1% de probabilidade.

A Tabela 2 apresenta o resultado obtido nos modelos utilizados, com a ROH e a efetividade (R^2), além dos critérios citados acima.

O modelo 1 não obteve resultados satisfatórios, pois as séries apresentaram estacionariedade apenas em primeira diferença, significando que elas são integradas de grau um, e o modelo apresentou uma estimação espúria. Segundo Zilli et al. (2008) o modelo espúrio apresenta elevados coeficientes de determinação, como foi o caso desse modelo. Além disso, o modelo apresentou uma razão ótima de 108,29% e 102,64% para Goiás e Mato Grosso, respectivamente, que contraria a teoria do ROH.

Os demais modelos estão dentro dos padrões estatísticos, e de acordo com a teoria do ROH, a escolha do melhor modelo se dará pelo

modelo que apresentar os menores critérios de AIC e SC.

Seguindo-se esse raciocínio, o modelo 3, de Myers e Thompson (1989), apresentou melhor resultado, por consequência indicando que os produtores de soja de Rio Verde necessitam fazer *hedge* de 53,88% de sua produção no mercado físico na forma de contrato de mercado futuro na BM&Fbovespa. O modelo 5 foi o que melhor adequou-se para os produtores de Sorriso com base nos critérios de Akaike e Schwarz. De acordo com esse modelo os produtores de Sorriso devem fazer *hedge* de 69,44% da produção no mercado físico em contratos no mercado futuro. O modelo 3 mostrou também que o uso do mercado futuro para comercializar a produção reduz 42,47% dos riscos da atividade para

Tabela 2. Resultados da aplicação dos modelos.

Equação	GO				MT			
	ROH	R^2	AIC	SC	ROH	R^2	AIC	SC
Modelo 1	1,0829	0,9438	4,2755	4,3542	1,0264	0,9469	4,2194	4,2981
Modelo 2	0,8606	0,4492	5,0094	5,0889	0,8377	0,5193	4,8731	4,9526
Modelo 3	0,5388 ⁽¹⁾	0,4247 ⁽¹⁾	4,56458	4,6849	0,6066	0,4671	4,6320	4,7525
Modelo 4	0,8404	0,5595	4,6954	4,8158	0,7665	0,5888	4,6266	4,7471
Modelo 5	0,5473	0,4149	4,6325	4,7947	0,6944 ⁽¹⁾	0,5285 ⁽¹⁾	4,5540	4,7146

⁽¹⁾ Modelos escolhidos pelo menor critério de informação.

os produtores do município em Goiás, e 52,85% para os produtores de Mato Grosso.

De posse do RHO estimado para as duas cidades, o passo seguinte foi analisar a variabilidade deles dentro de uma simulação com números aleatórios. A ideia da simulação é reamostrar os dados e criar réplicas, com a finalidade de analisar a dispersão dos dados em torno do valor original estimado. Como forma de mensurar o comportamento do RHO em simulação com números aleatórios usaram-se a distribuição normal e a técnica de simulação com números aleatórios retirados na própria amostra, conhecida como *bootstrapping*.

As Figuras 1 e 2 mostram a simulação de *bootstrapping* com a distribuição normal para 1.000 amostras aleatórias. Na Figura 1, que representa Rio Verde, foi considerada a média igual ao RHO = 0,5388 e desvio-padrão de 10% desse valor, ou seja, igual a 0,05388. Já na Figura 2, que representa Sorriso, foi considerada a média igual ao RHO = 0,6944 e desvio-padrão de 10% desse valor, ou seja, igual a 0,06944.

Os resultados da Figura 1 para o município de Rio Verde mostram que das 1.000 repetições

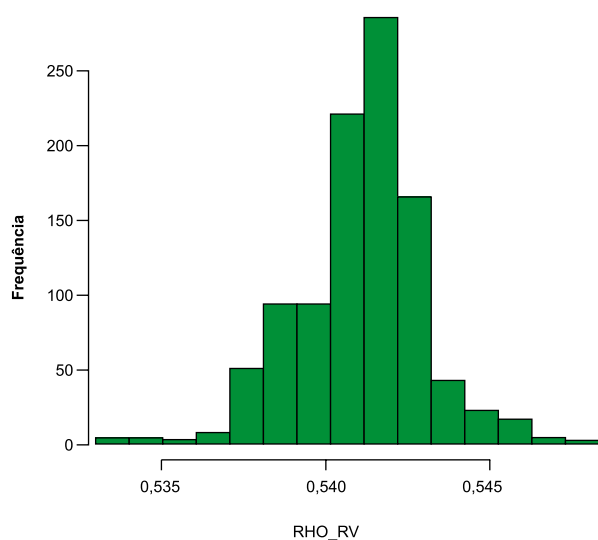


Figura 1. *Bootstrapping* para o RHO para o município de Rio Verde, GO.

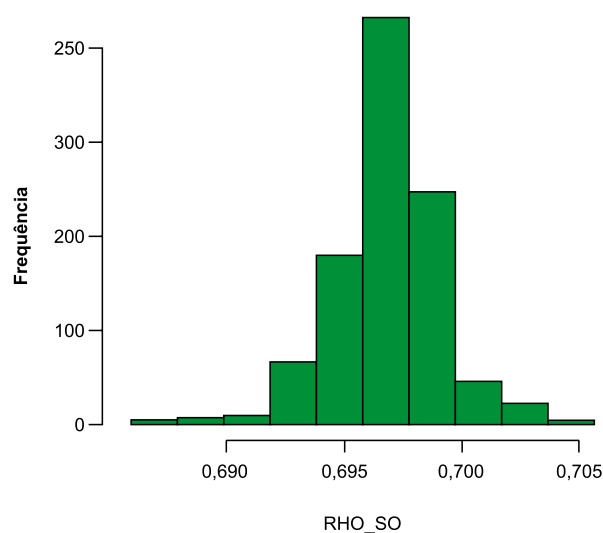


Figura 2. *Bootstrapping* para o RHO para o município de Sorriso, MT.

cerca de 700 repetições se concentraram acima de 54% para o RHO. Já a Figura 2, relativa ao município de Sorriso, mostrou que para 1.000 repetições cerca de 950 repetições se concentraram acima de 69% para o RHO.

Esses resultados evidenciam que, mesmo diante da simulação com números aleatórios, a cidade de Sorriso deve fazer *hedge* de maior parte da produção em comparação com a cidade de Rio Verde.

Considerações finais

De acordo com os modelos utilizados para a estimação da ROH e efetividade de *hedge*, o modelo 3 se mostrou mais bem adaptado para Rio Verde, e o modelo 5, para Sorriso. A ROH foi de 53,88% e 69,44% para Rio Verde e Sorriso, respectivamente; e a efetividade foi de 42,47% e 52,85%.

Com base nos resultados a utilização da ferramenta de mercado futuro se mostrou uma boa opção para a redução dos riscos relativos à atividade e oscilação de preços. Em virtude de “fatos estilizados” da economia brasileira no pe-

ríodo de análise, o mercado permaneceu instável, diante da crise econômica mundial, mesmo com predominância de efeitos exógenos positivos no mercado internacional de *commodities* ao longo dos anos, principalmente o mercado de soja. Nesse mercado, houve aumento da demanda mundial, sobretudo pelas aquisições da China, o maior consumidor mundial do grão. O produtor de soja de Sorriso está mais exposto ao risco; portanto, ele deve efetuar maior percentual da sua produção do mercado físico em *hedge* no mercado futuro na BM&Fbovespa.

Referências

- ALVES, A. F.; SERRA, M. H. Análise dos resultados de operações de *hedgin* com contratos futuros de boi gordo da BM&F: 2001 a 2006. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 46., 2008, Rio Branco, AC. [Anais...] Rio Branco: Sober, 2008. 1 CD-ROM.
- ALVES, J. G.; COELHO, A. B.; GONÇALVES, L. V. Efetividade do *hedge* no mercado de café arábica para as praças de Caratinga-MG e São Sebastião do Paraíso-MG. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 48., 2010, Campo Grande, MS. [Anais...] Campo Grande: Sober, 2010. 1 CD-ROM.
- BM&FBOVESPA. Indicadores agropecuários. 2011. Disponível em: <<http://www.bmfbovespa.com.br/shared/iframe.aspx?altura=2600&idioma=pt-br&url=www2.bmf.com.br/pages/portal/bmfbovespa/boletim1/indicadoresAgropecuarios1.asp>>. Acesso em: 2 out. 2012.
- EDERINGTON, L. H. The hedging performance of the new futures markets. *Journal of Finance*, New York, v. 34, n. 1, p. 157-170, 1979.
- HULL, J. C. **Fundamentos dos mercados futuros e de opções**. 4. ed. São Paulo: Bolsa de Mercadorias e Futuros, 2005.
- LAZZAROTTO, J. J.; HIRAKURI, M. H. **Evolução e perspectivas de desempenho econômico associadas com a produção de soja nos contextos mundial e brasileiro**. Londrina: Embrapa Soja. 2010. (Embrapa Soja. Documentos, 319).
- MYERS, R.; THOMPSON, S. Generalised optimal hedge ratio estimation. *American Journal of Agricultural Economics*, Saint Paul, v. 71, n. 4, p. 858-868, 1989.
- OLIVEIRA NETO, O. J. de; FIGUEIREDO, R. S. Efetividade das operações de *hedge* do boi gordo no mercado futuro da BM&F para o Estado de Goiás. *Revista Conjuntura Econômica Goiana*, Goiânia, n. 12, p. 73-85, 2009.
- OLIVEIRA NETO, O. J. de; FIGUEIREDO, R. S.; MACHADO, A. G. Efetividade de *hedge* e razão ótima de *hedge* para cultura do milho no Estado de Goiás. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, Taubaté, v. 5, n. 2, p. 115-138, 2009.
- RODRIGUES, M. A.; ALVES, A. F. Efetividade e razão ótima de *hedge*: um survey. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 48., 2010, Campo Grande, MS. [Anais...] Campo Grande: Sober, 2010.
- SANTOS, M. P. dos; BOTELHO FILHO, F. B.; ROCHA, C. H. *Hedge* de mínima variância na BM&F para soja em grãos no Centro-Oeste. *Sociedade e Desenvolvimento Rural*, Brasília, DF, v. 2, n. 1, p. 203-212, 2008.
- TONIN, J. M.; ALVES, A. F. Efetividade e razão ótima de *hedge* dos contratos futuros de milho para a região de Maringá. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 43., 2005, Ribeirão Preto. *Anais...* Ribeirão Preto: Sober, 2005. 1 CD-ROM.
- ZILLI, J. B.; SILVA, A. F.; CAMPOS, S. K.; COSTA, J. S. Razão Ótima de *Hedge* para os contratos futuros de boi gordo: uma análise do mecanismo de correção de erros. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 46., 2008, Rio Branco. *Anais...* Sober: Rio Branco, 2008.