



Conservation Strategy Fund | Conservação Estratégica | SÉRIE TÉCNICA No. 7 | maio de 2007

Efeitos de projetos de infra-estrutura de energia e transportes sobre a expansão da soja na bacia do rio Madeira

maria del carmen vera-diaz
john reid
britaldo soares filho
robert kaufmann
leonardo fleck

“A missão do CSF é ensinar a organizações de todo o mundo a utilizar a análise econômica estratégica para conservar a natureza”.

Fotografia da capa:
Marcos Amend

Av. Sánchez Lima No. 2600
Edificio Tango - Piso 11 Depto. 02
Telefone/fax: 591-2-2431038
Casilla: 4945 / La Paz - Bolivia
cecilia@conservation-strategy.org

Praça Dr. Lund, 218 - sala 407 - Centro
33400-000 - Lagoa Santa - MG - Brasil
Telefone/fax: 55-31-36811221
csfbrasil@conservation-strategy.org

Apto. 663-2300
Curridabat - Costa Rica
irene@conservation-strategy.org

1160 G Street, Suite A-1
Arcata, CA 95521 - Estados Unidos
Telefone: 707-822-5505
Fax: 707-822-5535
info@conservation-strategy.org

www.conservation-strategy.org

Impresso no Brasil
Printed in Brazil

Efeitos de projetos de infra-estrutura de energia e transportes sobre a expansão da soja na bacia do rio Madeira

maria del carmen vera-diaz [Boston University]

john reid [Conservation Strategy Fund]

britaldo soares filho [Universidade Federal de Minas Gerais]

robert kaufmann [Boston University]

leonardo fleck [Conservation Strategy Fund]

{ Agradecimentos

A

gradecemos o apoio financeiro da Fundação Gordon & Betty Moore e USAID (Agência Americana para o Desenvolvimento Internacional). Agradecemos também a Marcos Amend e Glenn Switkes por seus valiosos comentários, e Cecília Ayala, Pablo Pacheco, Luis Fernando Figueroa e Jorge Molina pelo apoio na coleta de dados na Bolívia, Susan Reid pela revisão do texto em inglês e Raquel Carvalho pela tradução ao português. Os resultados apresentados são de responsabilidade exclusiva dos autores.

{ Índice

AGRADECIMENTOS	4
ÍNDICE	6
SIGLAS	8
LISTA DE TABELAS/LISTA DE FIGURAS	10
RESUMO EXECUTIVO	12
EXECUTIVE SUMMARY	14
INTRODUÇÃO	16
ÁREA DE ESTUDO	20
MÉTODOS	24
Modelo de produtividade da soja	25
Motivação para o uso das variáveis explanatórias no Modelo Yield	25
Estimativa de custos de transporte	27
Cenários de rentabilidade da soja	30
Fonte e manipulação de dados	30
RESULTADOS	32
Cenários de custos de transporte da soja	33
Cenários de rentabilidade da soja	34
CONCLUSÕES	38
REFERÊNCIAS	42
FIGURAS	50
ANEXOS	58

{ Siglas

ANAPO	Associação Nacional de Produtores de Oleaginosas
CNO	Construtora Norberto Odebrecht
FAO	Food and Agriculture Organization
FURNAS	Furnas Centrais Elétricas S.A.
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IIRSA	The Initiative for the Integration or Regional Infrastructure in South America
INEI	Instituto Nacional de Estatística e Informática (Peru)
IPAM	Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia
ISA	Instituto Socioambiental
IRN	International Rivers Network
LEME	LEME Engenharia
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NCAR	National Center for Atmospheric Research
NCEP	National Center for Environmental Modeling
PCE	Projetos e Consultorias de Engenharia
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
SIFRECA	Sistema de Informações de Fretes
SOTERLAC	A Soils and Terrain Digital Database for Latin and Central America and the Caribbean
WHRC	Woods Hole Research Center
WWF	World Wildlife Fund

{
Lista de tabelas
Lista de figuras

Tabela 1.	Trechos navegáveis após a construção das barragens	17
Tabela 2.	Custo (fricção) de atravessar diferentes tipos de superfície	28
Tabela 3.	Cenários alternativos de infra-estrutura	29
Tabela 4.	Área com custos de transporte \leq US\$100/ton/km	33
Tabela 5.	Área de alta rentabilidade da soja (\geq US\$300/ha)	35
Figura 1.	Projetos de infra-estrutura	51
Figura 2.	Representação do modelo de produtividade da soja	52
Figura 3.	Mapas utilizados na elaboração do mapa de custos de transporte	53
Figura 4.	Mapa de rentabilidade atrativa ao cultivo de soja sob as condições atuais	54
Figura 5.	Incremento da área atrativa ao cultivo de soja no Cenário XI	55
Figura 6.	Incremento da área atrativa ao cultivo de soja no Cenário II	56

{ Resumo executivo



ários projetos de infra-estrutura de energia e transportes têm sido propostos para promover a integração física dos territórios amazônicos do Brasil, Peru e Bolívia. O Complexo Hidroelétrico e Hidroviário do Rio Madeira inclui a construção, em território brasileiro, das hidroelétricas de Jirau e Santo Antônio, de uma terceira hidroelétrica no trecho entre Abunã, no Brasil, e Guayaramerín, na Bolívia, e provavelmente uma quarta hidroelétrica na Cachoeira Esperanza, localizada no rio Beni, na Bolívia. Outros projetos de infra-estrutura de transporte propostos para a região incluem a pavimentação do Corredor Norte, na Bolívia, da Rodovia Cuiabá-Santarém (BR-163), no Brasil, e da Rodovia Interoceânica, no Brasil e Peru.

A expansão da soja é uma das principais conseqüências desses projetos de infra-estrutura, o que pode levar à conversão de diversos tipos de ecossistemas amazônicos, incluindo florestas, campos e savanas. Neste estudo, projetamos as mudanças potenciais no uso da terra como conseqüência da expansão da soja nas regiões do Brasil, Bolívia e Peru afetadas por tais projetos. Utilizamos um modelo interdisciplinar para estimar a produtividade da soja com base em variáveis climáticas, econômicas e edáficas. A seguir, a produtividade projetada foi utilizada para estimar a rentabilidade da soja considerando as variações nos custos de transporte. Para determinar o efeito de novos projetos de infra-estrutura, estimamos a variação dos custos de transporte da soja produzida até o porto de exportação mais próximo, considerando-se 11 diferentes cenários de infra-estrutura.

Nossos resultados indicam que os futuros projetos de navegação e as melhorias em estradas nos limites entre Bolívia, Brasil e Peru, na região sudoeste da Bacia Amazônica, têm potencial significativo para impulsionar a expansão da soja através da redução dos custos de transporte. A área considerada como altamente rentável para o plantio dessa cultura seria ampliada entre 6.594 km² (1 %) e 142.749 (17 %) km², dependendo dos projetos considerados na simulação. Em todos os cenários estudados, o noroeste da Bolívia seria o mais fortemente impactado tanto ecológica quanto economicamente. O estado de Mato Grosso, não obstante, ainda abrangeria a maior extensão de área classificada como altamente rentável em termos de produtividade de soja.

Esses resultados enfatizam o potencial para perda de habitats naturais na região sudoeste da Bacia Amazônica à medida que novos projetos de infra-estrutura são construídos. Embora não tenhamos analisado a viabilidade ou méritos de projetos específicos, concluímos que o estabelecimento de quaisquer novos projetos de infra-estrutura necessitará de investimentos concomitantes em conservação que minimizem a perda de valores ambientais.



Executive summary



number of energy and transportation projects have been proposed to promote the physical integration of Peru, Brazil and Bolivia's Amazon territories. The Madeira River Hydroelectric and Navigation Mega-project includes the construction of two hydroelectric power stations (HPS), Jirau and Santo Antônio, in Brazil, a third HPS between Abunã in Brazil and Guayaramerín in Bolivia, and probably a fourth at the Esperanza Falls on the Beni River in Bolivia. Other transportation infrastructure projects proposed in this region include the paving of the Bolivian "Northern Corridor," the Cuiabá-Santarém Corridor, and the "Interoceanic Highway."

One of the main consequences expected from these energy and transportation projects is the expansion of soybean planting, which would involve conversion of several types of Amazonian ecosystems, including forests, grasslands and savannahs. This study predicts potential land use changes as a function of soybean expansion in the regions of Brazil, Bolivia, and Peru affected by the infrastructure projects. We use an interdisciplinary model to estimate soybean yields based on climate, soils, and economic factors. We then use yield predictions to estimate soybean profitability based on variations in transportation costs. The effect of new infrastructure projects is evaluated by estimating changes in the cost of shipping soybeans to the nearest export port under 11 alternative infrastructure scenarios.

Our results indicate that future navigation mega-projects and road improvements in the Bolivia-Brazil-Peru border region in the Southwest Amazon Basin have significant potential to spur soybean expansion by reducing transport costs. The area considered highly profitable for planting would increase by between 6,594 (1 percent) and 142,749 km² (17 percent), depending on the projects included in the simulation. In all the scenarios we studied, northwestern Bolivia would be the most heavily impacted in economic and ecological terms. Nevertheless, the state of Mato Grosso in Brazil would continue to have the greatest total area classified as highly profitable from soybean cultivation.

These results underscore the potential for natural habitat losses in the southwest Amazon Basin as more infrastructure is constructed. While we draw no conclusions about the feasibility or merits of particular projects, we do conclude that conservation investments are needed in parallel to any new infrastructure projects in this region to minimize the loss of natural values.



{ Introdução



ários projetos de infra-estrutura de energia e transportes têm sido propostos para promover a integração física dos territórios amazônicos de Peru, Brasil e Bolívia. Dentre esses projetos está o Complexo do Rio Madeira, que inclui a construção de duas hidrelétricas – Jirau e Santo Antônio – entre Porto Velho e Abunã, no trecho do rio Madeira que corta o Brasil, uma terceira hidrelétrica entre Abunã (Brasil) e Guayaramerín (Bolívia), e provavelmente uma quarta na Cachoeira Esperanza no rio Beni, em território boliviano (Figura 1: Página 51). O Complexo do Rio Madeira também envolve a construção de comportas e redes de transmissão de energia elétrica. De acordo com projeções oficiais, esses investimentos além de gerarem energia a preços competitivos, possibilitariam a navegação no alto Madeira, atualmente inviável devido às cachoeiras e corredeiras existentes nesse trecho do rio (Furnas/Odebrecht/Leme, 2005). Mais de 4,000 km de cursos de água a montante das barragens a serem construídas no Brasil, Bolívia e Peru se tornariam navegáveis (Tabela 1). A navegação no rio Madeira é considerada um importante elemento do eixo Orinoco-Amazonas-Prata, um dos 12 eixos de integração propostos pela Iniciativa de Integração da Infra-estrutura Regional Sul-Americana (IIRSA).

TABELA 1 - TRECHOS NAVEGÁVEIS APÓS A CONSTRUÇÃO DAS BARRAGENS

Barragens	Países influenciados	Rios	Trecho navegável	Extensão (km)
Santo Antônio e Jirau	Brasil	Madeira	Abunã - Porto Velho	270
Abunã - Guayaramerín	Brasil Bolívia	Mamoré/ Guaporé	Vila Bela SS Trindade - Abunã	1.565
		Mamoré	Puerto Grether - Costa Marques	780
Cachoeira Esperanza	Brasil Bolívia Perú	Beni	Rurrenabaque - Mamoré	710
		Orthon	Puerto Rico - Beni	200
		Madre de Dios	Puerto Maldonado - Beni	630
Total				4.155

Uma das principais implicações previstas em função desse mega-projeto é a expansão dos plantios de soja nos estados bolivianos de Pando, Beni e parte de Santa Cruz, como resultado da diminuição dos custos de transporte. De acordo com o Consórcio Furnas/Odebrecht, essa região abriga oito milhões de hectares de terras aptas para agricultura intensiva. O potencial produtivo da área é estimado em 24 milhões de toneladas por ano (PCE/Furnas/Odebrecht, 2002). No entanto, tais projeções não estão confirmadas. Além disso, estudos de zoneamento indicam que o tipo de solo encontrado na área é

um fator limitante para a produção de grãos em larga escala (Zonisig, 1997). No lado brasileiro, os estados de Rondônia e Mato Grosso seriam os principais beneficiários da Hidrovia do Madeira, que afetaria uma área de aproximadamente 350.000 km² (PCE/Furnas/Odebrecht, 2002). Atualmente, esta região produz três milhões de toneladas de soja, 6% da produção brasileira (IBGE, 2006). De acordo com as estimativas do projeto, a Hidrovia do Madeira reduziria o custo de transporte da soja de Rondônia e Mato Grosso para os portos do Pacífico, ampliando para 28 milhões/toneladas/ano a produção de soja (PCE/Furnas/Odebrecht, 2002). No nível local, os efeitos econômicos dos plantios de soja poderiam ser sentidos no aumento na oferta de empregos, aumento da produtividade (PIB per capita) e aumento de bem-estar.

As propostas de pavimentação do (1) Corredor Norte, conectando La Paz, Guayaramerín e Cobija, na Bolívia, (2) da Rodovia Cuiabá-Santarém (BR-163), entre Guarantã do Norte e Santarém, no Brasil, e (3) da Rodovia Interoceânica, entre Rio Branco, no Brasil, e Ilo, no Peru, também poderiam ter grandes impactos sobre a expansão da produção de soja na área da triplíce fronteira Bolívia-Brasil-Peru (Figura 1: Página 51).

No entanto, esses projetos suscitam preocupações tanto ambientais quanto sociais. A ampliação do cultivo da soja poderia causar impactos ambientais significativos, tais como desmatamento, perda de biodiversidade, compactação do solo, erosão, e poluição de rios devido ao uso de pesticidas e fertilizantes. A implantação de projetos de infraestrutura na Bacia Amazônica, as estradas em particular, tem estado claramente ligadas ao desmatamento (Fearnside 1986, 1987; Kaimowitz e Angelsen, 1998; Nepstad et al., 2001; Alves, 2002; Alencar et al., 2004), e pode implicar em perdas econômicas para a sociedade como um todo (Alencar et al., 2005).

As barragens ao longo do rio Madeira também afetariam de maneira adversa a biota aquática devido à interrupção das rotas de espécies migratórias de peixes. Adicionalmente, prevê-se que o transporte de sedimentos seria interrompido, o nível do lençol freático aumentaria causando inundações e a qualidade e a dinâmica dos recursos hidrológicos seria alterada (Furnas/Odebrecht/Leme, 2005). Prevêem-se também custos sociais, uma vez que as comunidades locais competiriam por terras e recursos naturais com migrantes e compradores de terras capitalizados¹ (Cáceres Vega, 2000). Um possível resultado seria o aumento da desigualdade na distribuição de riquezas (Fearnside, 1997, 2001). Na última década, a explosão no cultivo da soja em Mato Grosso foi acompanhada por um aumento no Índice de Gini (uma medida de desigualdade na distribuição de renda) de 0,55 em 1990 para 0,59 em 2000 (PNUD, 2000).

¹ Há trinta anos, a chegada da soja e o programa de erradicação do café levaram mais de 2,5 milhões de pequenos produtores a deixarem as zonas rurais. Muitos migraram para as áreas de florestas nas regiões Centro-Oeste e Norte (Fearnside, 1986, 1987). Mais recentemente, a construção do porto de Santarém, na confluência dos rios Amazonas e Tapajós, tem atraído compradores de terras capitalizados do Mato Grosso, Paraná e Rio Grande do Sul para os municípios de Santarém e Belterra, no estado do Pará, levando à expulsão de comunidades locais e estimulando a conversão de florestas em plantios de soja (Steward, 2004).

No presente estudo, projetamos que haverá uma expansão da cultura da soja na região da tríplice fronteira entre Brasil, Bolívia e Peru em função da implantação dos projetos de energia e transportes acima mencionados. Nossas simulações consideraram 12 cenários – um que representa a manutenção das condições atuais e 11 constituídos de diferentes combinações de novas estradas e barragens. Estimamos a área que se tornaria atrativa para o cultivo da soja como resultado dos investimentos em infra-estrutura, e o efeito potencial dessa expansão nas Unidades de Conservação, terras indígenas e ecossistemas em geral. A resposta depende da rentabilidade do cultivo da soja, que é determinado principalmente pelo preço, produtividade, e custos de produção e transporte. Empregamos um modelo interdisciplinar desenvolvido por Vera-Diaz et al. (2006) para estimar a produtividade da soja com base em variáveis climáticas, edáficas e econômicas. Utilizamos as predições de produtividade de soja para calcular mapas de rentabilidade (lucro) potencial usando sistemas de informação geográfica. O efeito dos novos projetos de infra-estrutura é especificamente abordado estimando-se, para cada um dos cenários, o custo de transporte dos grãos até o porto de exportação mais próximo, utilizando ferramentas de análise espacial. Essas abordagens nos permitem detectar variações espaciais na viabilidade econômica da produção de soja, e em que nível os investimentos em infra-estrutura podem influenciar a expansão das áreas de cultivo.



{ Área de Estudo



resente estudo cobre uma área de 2,1 milhões km² na região fronteira entre Bolívia, Brasil e Peru (Figura 1: Página 51). Essa área constitui-se atualmente de um mosaico de florestas, campos, savanas e áreas cultivadas cortada por grandes rios, que abriga uma considerável diversidade de espécies da flora e fauna. A população humana é caracterizada por uma rica diversidade cultural devido à convergência de três países com diferentes processos históricos de desenvolvimento.

As hidroelétricas seriam construídas no rio Madeira e ao longo de seus afluentes, os rios Mamoré e Beni. O rio Madeira é um dos principais tributários do Amazonas, respondendo por cerca de 15% do volume de água e 50% de todo o sedimento que o Amazonas deposita no Oceano Atlântico (Goulding et al., 2003). Esse transporte de sedimentos é um fator chave para a dinâmica biológica das grandes áreas alagadas de várzea ao longo dos rios Madeira e Amazonas, abaixo da desembocadura do rio Madeira. A maior parte da população rural amazônica ocupa essas florestas, as mais biologicamente produtivas devido à deposição de grandes quantidades de sedimentos (Goulding 1999). O rio Madeira é considerado também um tesouro de biodiversidade, abrigando mais de 750 espécies estimadas de peixes e 800 de aves, e várias outras espécies, muitas ameaçadas (IRN, 2006).

As hidroelétricas de Jirau e Santo Antônio seriam instaladas em um trecho de 260 km do rio Madeira entre Vila de Abunã e Cachoeira Santo Antônio, no município de Porto Velho (Rondônia). As hidroelétricas de Jirau e Santo Antônio seriam instaladas 136 km e 10 km de Porto Velho, respectivamente. A hidroelétrica de Abunã-Guayaramerín seria instalada ao longo dos rios Mamoré e Madeira², entre os municípios de Abunã, no estado de Rondônia, e Guayaramerín, no Departamento de Beni, na Bolívia. A barragem Esperanza seria construída na cachoeira conhecida como “Cachuela Esperanza”, no rio Beni, 30 km acima da sua confluência com o rio Mamoré, no estado de Pando, na Bolívia.

As três estradas propostas incluídas nesse estudo são o Corredor Norte, na Bolívia, a Rodovia Cuiabá-Santarém (BR-163) e a Rodovia Interoceânica (também conhecida como Estrada do Pacífico). O Corredor Norte tem 1.386 km de extensão e liga La Paz a Guayaramerín, incluindo o trecho de El Chorro a Cobija. Essa rodovia foi construída no final dos anos setenta e atualmente apresenta vários trechos intransitáveis durante a estação chuvosa (DHV, 2006). O Corredor Norte atravessa áreas de floresta montana, floresta tropical, campos e a porção oeste das savanas de Beni – o terceiro maior complexo de savanas da América do Sul. Essa ecorregião foi identificada como um centro de diversidade e endemismo de espécies de plantas (WWF, 2006).

Inaugurada na década de 70, a Rodovia Cuiabá-Santarém (BR-163), com 1.750 km, liga a cidade de Santarém, localizada às margens do rio Amazonas, a Cuiabá, capital

2 *O Mamoré é um extenso rio boliviano que se une ao rio Beni para formar o rio Madeira.*

do Mato Grosso. Atualmente, os 36% da estrada que estão pavimentados atravessam grandes áreas de savanas (cerrado) e, em menor grau, florestas de transição. Os 990 km restantes da Cuiabá-Santarém, entre Guarantã do Norte e Santarém, não estão pavimentados e atravessam uma área de floresta inacessível e pouco povoada. A falta de pavimentação limita o trânsito na maior parte do ano.

A Estrada do Pacífico é parte do projeto de extensão da BR-317 em território peruano, que liga Rio Branco à cidade fronteiriça de Assis Brasil, no estado do Acre. A porção brasileira já está pavimentada. A Estrada do Pacífico ligará a cidade fronteiriça peruana de Iñapari aos portos de Ilo e Matarani, no Pacífico, cobrindo uma extensão de 1.580 km. O trecho da estrada entre Assis Brasil, no Brasil, e Puerto Maldonado, no Peru, de aproximadamente 600 km, não está pavimentado e atravessa uma região de florestas e áreas de cultivo.



{ Métodos

Modelo de produtividade da soja

Para projetar as mudanças potenciais no uso da terra, utilizamos um modelo interdisciplinar que integra variáveis climáticas e edáficas relacionadas à produtividade da soja a modelos de regressão que simulam variáveis econômicas e espaciais (Vera-Diaz, et al., 2006; Kaufmann e Snell, 1997; Sinclair, 1986).

Esse modelo foi desenvolvido originalmente para projetar a expansão da soja na Amazônia brasileira. O conceito geral do modelo é dado pela equação (1) e representado na Figura 2 (Figura 2: Página 52).

EQUAÇÃO (1)

$$YIELD_i = \beta_0 + \beta_1 MYield_i + \beta_2 TCost_i + \beta_3 Credit_i + \beta_4 \ln(Fertil)_i + \beta_5 Lat_i + \beta_6 Long_i + u_i$$

No qual *YIELD* representa a produtividade da soja (Quilo-gramas/ha); *MYield* representa a produtividade média de soja (Quilogramas/ha) obtida por simulação através do modelo SOYBEAN; *TCost* representa o menor custo cumulativo de transporte (US\$/ton) até o porto de exportação; *Credit* representa o total de empréstimos obtido pelos plantadores de soja dividido pela área plantada com soja (US\$/ha); *Fertil* representa o custo dos fertilizantes (US\$/ha) estimado com base nas variáveis instrumentais edáficas³ pH e profundidade da raiz; *Lat* representa a latitude utilizada como *proxy* do fotoperíodo; *Long* a longitude; e *u* o erro da regressão. Os coeficientes estimados⁴ nessa equação por Vera-Diaz et al. (2006) são implementados com um novo conjunto de dados para projetar a expansão do plantio da soja na região compartilhada por Bolívia, Brasil e Peru.

Motivação para o uso das variáveis explanatórias no Modelo Yield

Os efeitos do clima e do ambiente edáfico na produtividade da soja estão representados na equação (1) pela variável *MYield*, que indica a produtividade da soja como simulada pelo modelo SOYBEAN⁵. As relações entre variáveis climáticas e edáficas e a produtividade provavelmente não são lineares e variam ao longo do desenvolvimento fenológico da planta de soja. Desta forma, utilizando a variável (*MYield*) gerada pelo modelo SOYBEAN para determinar a influência do clima na produtividade de soja é

³ Para maiores detalhes acerca das variáveis instrumentais utilizadas para se estimar as quantidades de fertilizantes, consultar Vera-Diaz et al. (2006).

⁴ A regressão linear múltipla para a variável dependente *YIELD* estimada por Vera-Diaz et al. (2006), é: $YIELD = - 4113,26 + 0,07 (MYield) - 5,08 (TCost) + 1,57 (Credit) + 214,96 (Fertil) + 47,89 (Lat) + 99,72 (Long) + u_i$

⁵ Para maiores detalhes sobre o modelo de simulação SOYBEAN, consultar Vera-Diaz et al. (2006).

mais eficaz do que especificar as variáveis climáticas e edáficas na equação (1). Para a simulação do modelo SOYBEAN, foram utilizados dados diários de precipitação (mm/dia), temperaturas máxima e mínima (graus Kelvin), e fluxo de radiação solar líquida (watts por metro quadrado) entre os anos de 1950 e 2001. As condições edáficas e as práticas de manejo também foram incluídas no modelo, estando representadas pelas variáveis profundidade da raiz⁶ e data de plantio.

Os custos de transporte têm efeito indireto na produtividade de soja. Altos custos de transporte reduzem o preço que os produtores recebem pela venda da soja, reduzindo a viabilidade econômica da aplicação de insumos tais como fertilizantes e herbicidas, e consequentemente resultando em produtividades reduzidas. O preço local desses insumos também é afetado por altos custos de transporte. Em conjunto, esses efeitos sugerem que a produtividade deveria estar negativamente relacionada aos custos de transporte. Esses dados foram estimados com base em técnicas de análise espacial (ver próxima seção).

A disponibilidade de crédito por parte das companhias produtoras de grãos e bancos é um fator decisivo para a produção da soja. O aumento na disponibilidade de crédito aumenta a qualidade e quantidade dos insumos adquiridos, promovendo o investimento em maquinários modernos que, por sua vez, tem efeito positivo na produtividade de soja.

O efeito dos fertilizantes na produtividade é direto - aumentos na aplicação de fertilizantes aumentam a produtividade. No entanto, o uso de fertilizantes e a produtividade são determinados em conjunto. A quantidade de fertilizantes aplicada depende de seu efeito marginal sobre a rentabilidade, que é determinada pelo efeito marginal sobre a produtividade, e pelo preço da soja e dos fertilizantes. Baseado nesse cálculo econômico, os produtores apenas aplicam fertilizantes nas áreas onde o valor do aumento da produtividade é maior que o custo adicional relativo à aplicação de maior quantidade de fertilizantes. Esta simultaneidade entre a produtividade e o uso de fertilizantes é tratada utilizando-se as variáveis instrumentais de pH e profundidade da raiz para se estimar os valores de fertilizantes (Vera-Diaz et al., 2006).

A produtividade de soja também é afetada pelo fotoperíodo, ou comprimento do dia. A expansão recente da soja nas baixas latitudes (< 25°), incluindo áreas próximas ao Equador, é possível devido à existência de cultivares com genes de juvenildade longa, atrasando os períodos de floração e maturação (Hartwig e Kiihl, 1979; Sinclair et al., 2005). Apesar dos avanços, por ser uma espécie originalmente de dias curtos, a soja é menos produtiva em baixas latitudes. Sendo assim, inserimos a variável latitude para incluir o efeito do fotoperíodo na sua produtividade. Finalmente, a longitude representa

⁶ A profundidade da raiz é a profundidade estimada que a raiz atinge caso não haja restrições físicas ou químicas, conforme classificação da FAO (1990).

as variáveis omitidas que variam sistematicamente no sentido leste-oeste, tais como declive⁷ ou o(s) efeito(s) de estimativas de variáveis incluídas no modelo SOYBEAN que estejam enviesadas espacialmente.

Estimativa de custos de transporte

A abordagem do menor custo cumulativo é empregada para estimar os custos de transporte e simular o impacto da implantação de futuras hidrovias e pavimentação de estradas sobre a expansão da soja. Utilizando esse método, calculamos o custo de transporte de uma tonelada de soja a partir de cada local da área de estudo até o porto de exportação de soja mais acessível, definido como a via de menor custo, com auxílio do software ArcGIS.

Dois mapas foram utilizados para calcular os custos de transporte da soja: o mapa de portos de exportação e o mapa de uso da terra. O mapa de portos de exportação inclui os portos de Itacoatiara, Santarém, São Luis, Paranaguá, Santos e Rio Grande, no Brasil; Arica no Chile; Ilo e Matarani no Peru; e Buenos Aires, na Argentina. Esses portos representam as principais vias de acesso aos mercados de soja.

O mapa de uso da terra foi determinado sobrepondo-se mapas de cobertura vegetal, malhas viária e ferroviária, e hidrografia (Eva et al., 2002; WHRC/IPAM/ISA, 2000). O mapa de cobertura vegetal consiste de seis categorias: (1) floresta, (2) floresta inundada (várzea), (3) floresta montana, (4) terras áridas e desérticas, (5) agricultura, (6) campos e savanas. O mapa de malha viária classifica as estradas em pavimentadas e não pavimentadas. O mapa de malha ferroviária inclui as principais ferrovias utilizadas para o transporte de soja. O mapa de hidrografia classifica os rios em navegáveis e não-navegáveis. A cada categoria de cobertura vegetal, hidrografia, malhas viária e ferroviária foi atribuído um custo ou coeficiente de fricção⁸ (Tabela 2), que representa o custo por unidade de distância (US\$/tonelada/km) para transportar a soja. Esses custos estão embasados na noção de fricção; algumas células nos mapas digitais são mais difíceis e custosas de serem transpostas do que outras. Por exemplo, vias pavimentadas são relativamente mais fáceis de serem percorridas e apresentam um baixo coeficiente

7 A variável declive foi omitida do modelo de produtividade da soja em função dos problemas de endogeneidade existentes entre declive e aplicação de fertilizantes. Os produtores amazônicos utilizam fertilizantes principalmente na agricultura mecanizada praticada em áreas planas. Desta forma, consideramos que as variáveis relacionadas a fertilizantes contemplam a influência do declive sobre a produtividade de soja.

8 No presente estudo, os coeficientes de fricção estão embasados em estimativas prévias de custos de transporte de produtos em diferentes tipos de terreno (Barros & Uhl, 1995; Barros & Verissimo, 1996; Stone, 1998; Guimarães & Uhl, 1998; Nelson et al., 1999; Verissimo et al., 1992, 1995; e Vera-Diaz et al., 2006). Estes coeficientes de fricção são derivados principalmente da indústria madeireira. Utilizando esses valores assumimos que a madeira serve como referência para os demais bens transportados, uma vez que é similar em peso e volume a outros produtos agrícolas. Calibramos essas estimativas de custos para refletir as condições do setor com base em informações previamente publicadas relacionadas ao custo de transporte da soja por estradas asfaltadas e de terra (Sifreca, 2006).

de fricção se comparadas com estradas não pavimentadas (Stone, 1998). Em seguida, o mapa de uso da terra com as categorias de fricção assinadas foi utilizado em combinação com o mapa de portos de exportação para determinar qual a via de menor custo a partir de cada localidade da área de estudo até o porto mais próximo, produzindo um mapa de custo de transporte (Figura 3). Esse procedimento foi feito usando-se as funções custo-distância e custo-alocação, disponíveis no software ArcGIS.

TABELA 2 - CUSTO (FRICÇÃO) DE ATRAVESSAR DIFERENTES TIPO DE SUPERFÍCIES

Categoria de uso do solo	Coefficientes de fricção (0-3) US\$/tonelada/km
Estrada pavimentada	0,05
Estrada não pavimentada	0,15
Rio navegável	0,02
Rio não navegável	3,00
Ferrovias	0,03
Campo e savana	0,30
Floresta	3,00
Floresta inundada	3,00
Floresta montana	3,00
Terras áridas/desérticas	3,00

Para determinar os efeitos dos projetos de infra-estrutura sobre os custos de transporte da soja, simulamos os seguintes cenários: 1) construção das hidroelétricas de Jirau e Santo Antônio (Brasil), Abunã-Guayaramerín (Brasil-Bolívia) e Cachoeira Esperanza (Bolívia), e 2) pavimentação do Corredor Norte e das Rodovias Cuiabá-Santarém (Brasil) e da Estrada do Pacífico (Brasil-Peru). As simulações foram embasadas em cenários alternativos de infra-estrutura mostrados na Tabela 3.

As melhorias de infra-estrutura em cada um dos cenários foram incorporadas ao mapa de hidrografia alterando-se, após a construção das hidrelétricas⁹, os respectivos pixels dos rios não-navegáveis para navegáveis e, no mapa de malha viária, os respectivos pixels das estradas não pavimentadas para pavimentadas. Esses novos mapas foram utilizados para gerar mapas de custos mínimos cumulativos para os 12 cenários propostos utilizando-se as técnicas descritas acima.

Cenário I representa as condições de infra-estrutura de transportes atuais.

Cenário II inclui a construção das hidroelétricas de Jirau e Santo Antônio, que tornariam o rio Madeira navegável entre Porto Velho e Abunã.

⁹ Assumimos que as hidrelétricas também incluiriam a construção de eclusas e canais para possibilitar a navegação.

TABELA 3 - CENÁRIOS ALTERNATIVOS DE INFRA-ESTRUTURA

Projetos de infra-estrutura	Cenários											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Condições atuais	√											
Barragem Santo Antônio		√	√	√	√	√	√			√		√
Barragem Jirau		√	√	√	√	√	√			√		√
Barragem Abunã - Guayamerín			√	√		√	√					
Barragem Esperanza				√			√					
Corredor Norte					√	√	√	√	√	√	√	√
Rodovia Cuiabá - Santarém									√	√		
Estrada do Pacífico											√	√
Probabilidade dos cenários (Alta - Média - Baixa)			A	M	B	A	M	B	A	A	A	A

Cenário III inclui a construção das barragens de Jirau, Santo Antônio e Abunã-Guayamerín, que tornariam navegáveis os rios Madeira (entre Porto Velho e Abunã), Mamoré/Guaporé (entre Vila Bela da Santíssima Trindade e Abunã) e Mamoré (entre Puerto Grether e Costa Marques).

Cenário IV adiciona a hidroelétrica de Esperanza ao Cenário III. Esta quarta barragem tornaria navegáveis os rios Beni (entre Rurrenabaque e o rio Mamoré), Orthon (entre Puerto Rico e Beni) e Madre de Dios (entre Puerto Maldonado e Beni).

Cenário V adiciona a pavimentação do Corredor Norte ao Cenário II.

Cenário VI adiciona a pavimentação do Corredor Norte ao Cenário III.

Cenário VII adiciona a pavimentação do Corredor Norte ao Cenário IV.

Cenário VIII inclui apenas pavimentação do Corredor Norte.

Cenário IX considera a pavimentação do Corredor Norte e do Corredor Cuiabá-Santarém.

Cenário X é a soma do Cenário II e Cenário IX.

Cenário XI considera a pavimentação do Corredor Norte e da Estrada do Pacífico.

Cenário XII é a soma do Cenário II e Cenário XI.

Os cenários de infra-estrutura propostos foram classificados em três grupos de acordo com a probabilidade de implantação. Essas categorias foram definidas considerando-se o status atual de cada projeto de infra-estrutura e uma estimativa subjetiva de suas

chances de implementação no médio prazo. Os Cenários II, V, VIII, IX, X, XI e XII são considerados os mais prováveis, enquanto os cenários III e VI são considerados como de média probabilidade e os Cenários IV e VII têm baixa probabilidade.

Cenários de rentabilidade da soja

A rentabilidade da soja refere-se ao lucro obtido pelo seu cultivo. De maneira simples, a rentabilidade é a diferença entre as receitas geradas pelo cultivo da soja e os custos de produção e transporte¹⁰. Para estimar a rentabilidade do plantio de soja, utilizamos valores de produtividade projetados através do Modelo de Produtividade e preços médios da soja (USDA-WASDE, 1983-2005). Devido a disponibilidade limitada de dados acerca dos custos de produção, incluímos apenas os custos de transporte na estimativa de rendimento da soja. Uma vez que o preço local de insumos agrícolas e o preço que os produtores de soja recebem são severamente influenciados pelos custos de transporte, assumimos que essa variação é um *proxy* razoável da variação no custo de produção. Desta forma, as previsões de produtividade dadas pela equação (1) e pelo mapa de custos de transporte gerado neste estudo foram usados para estimar 12 cenários de rentabilidade da soja para cada *pixel* dentro da área de estudo. O custo de transporte é a variável que se altera em cada mapa de rentabilidade de soja de acordo com a simulação dos cenários alternativos de infra-estrutura.

Fontes e manipulação de dados

Os dados climáticos diários (precipitação, temperatura e radiação solar) de 1950 a 2001 utilizados no modelo SOYBEAN foram obtidos junto ao projeto de re-análise NCEP – NCAR, que utiliza modelos climáticos para interpolar espacialmente e temporalmente medidas de campo esparsas (NASA/NCEP/NCAR, 2004). Os dados de profundidade da raiz foram obtidos de um mapa de solos da SOTERLAC, cuja escala original é de 0,5 graus para 4 categorias de profundidade (muito superficial: < 30 cm; superficial: 30-50 cm; moderadamente profunda: 50-150 cm; muito profunda: > 150 cm) (ISRIC, 1998). Estas categorias foram convertidas em valores (e.g. 15 cm, 40 cm, 100 cm e 150 cm) para serem utilizados no modelo SOYBEAN.

Para estimar o parâmetro $\ln(fertil)$, os dados de profundidade da raiz foram classificados como: 1 = profundidade radicular efetiva (> 50 cm) e 0 = profundidade radicular não efetiva (< 50 cm)¹¹. Os dados de pH do solo foram derivados do mapa de solos da SOTERLAC com resolução de 0,5 graus, com valores variando de 4,5 (fortemente ácido) a 6,6 (básico). Os valores de fertilizantes [$\ln(Fertil)$] projetados pelas variáveis profundidade da raiz e pH foram usados como instrumentos na equação (1).

¹⁰ $Rentabilidade = (produção * preço) - (custo de produção + custo de transporte)$

¹¹ *Essas categorias têm como base estudos empíricos que indicam que a profundidade da raiz ultrapassa 50 cm à medida que a planta entra na fase de floração (Jones et al., 2005).*

Os dados para estimar o mapa de custos de transporte foram obtidos a partir de um conjunto de dados espaciais reunidos por WHRC, ISA e IPAM. Esse conjunto de dados inclui mapas de cobertura vegetal, malhas viária e ferroviária, hidrografia, e portos. Dados de cobertura vegetal com resolução de 1 km² foram obtidos de Eva et al. (2002). O mapa original de cobertura vegetal apresenta mais de 40 classes, que foram reclassificadas em cinco categorias: floresta, floresta inundada, floresta montana, terras áridas/desérticas, agricultura e campos/savana. Os dados da malha viária, hidrografia e portos foram obtidos de WHRC/IPAM/ISA (2000). A malha viária está classificada como não pavimentada ou pavimentada. Os rios foram categorizados em navegáveis ou não-navegáveis. O mapa dos portos foi compilado junto às mesmas instituições e inclui os principais portos exportadores da América do Sul, a partir dos quais selecionamos os principais portos usados para exportação da soja produzida no Brasil, Bolívia e Peru: Itacoatiara, Santarém, São Luis, Paranaguá, Santos e Rio Grande no Brasil, Arica no Chile, Ilo e Matarani no Peru e Buenos Aires na Argentina.

Os dados de crédito e data de plantio nos níveis de zona censitária e estadual foram obtidos a partir do Censo Agrícola Brasileiro realizado entre os anos de 1995 e 1996 (IBGE, 1996), ANAPO (2004), e INEI (1994). Esses dados foram espacializados usando o software ArcGIS, com cada polígono sendo transformado em centróide e representado por suas coordenadas X e Y.

Em seguida, os mapas de *MYield*, crédito, fertilizantes e data de plantio (em formato vetorial) foram convertidos a formato raster, 5 km² de resolução, usando técnicas de interpolação espacial. Todos os mapas de produtividade e rentabilidade de soja foram estimados usando a mesma resolução espacial.

{ Resultados

Cenários de custo de transporte da soja

Os custos de transporte da soja variam muito ao longo da área de estudo, oscilando entre US\$ 14 a 576 por tonelada. No estado de Mato Grosso (Brasil) e no departamento de Santa Cruz (Bolívia) predominam custos baixos devido às melhores condições da malha viária. Essas regiões são caracterizadas por extensas áreas de agricultura e pastagens, fatores que reduzem a fricção no deslocamento de veículos de carga.

Sob as condições atuais de infra-estrutura, uma área equivalente a um milhão de km² apresenta custos de transporte inferiores a US\$100 por tonelada¹² (Tabela 4). A maior parte dessa área (67%) está no estado do Mato Grosso, principal estado brasileiro produtor de soja.

TABELA 4 - ÁREA COM CUSTOS DE TRANSPORTE INFERIORES OU IGUAIS A US\$100/TONELADA/KM

Cenários	Área Total km ²	Aumento	
		km ²	%
I	1.068.521		
II	1.070.336	1.815	0,2%
III	1.079.986	11.465	1%
IV	1.113.200	44.679	4%
V	1.132.106	63.585	6%
VI	1.153.130	84.609	8%
VII	1.237.467	168.946	16%
VIII	1.129.323	60.802	6%
IX	1.144.146	75.625	7%
X	1.146.929	78.408	7%
XI	1.192.183	123.662	12%
XII	1.194.905	126.384	12%

Os investimentos em infra-estrutura simulados nos 11 cenários alternativos diminuem os custos de transporte e aumentam a área atrativa ao plantio de soja em níveis variáveis (Tabela 4 e Anexo 1: Página 59). Esse aumento variaria entre 1.815 km² (Cenário II) para 168.946 km² (Cenário VII), ou de menos de 1% a 16%, respectivamente. Em todos os cenários propostos exceto no Cenário II, a Bolívia veria um aumento de mais de 60% no montante de área que se tornaria atrativa ao plantio de soja¹³. A maior parte

¹² De acordo com a Associação Nacional dos Exportadores de Cereais (ANEC), o custo de transporte da tonelada de soja no Brasil do produtor ao porto exportador é em média de US\$ 37. Esse valor, entretanto, apresenta alta variação ao longo do território brasileiro, atingindo em alguns casos valores superiores a \$100 por tonelada. No presente estudo, consideramos \$100 por tonelada como sendo o limiar do custo aceitável de transporte, acima do qual passa a ser proibitivo.

¹³ O Brasil seria o país mais afetado pela infra-estrutura planejada dentro do Cenário II, especialmente o estado de Rondônia.

da área, com custos de transporte inferiores a US\$100/tonelada, estaria localizada no departamento de Beni.

Apesar de o território boliviano ser o mais afetado pela redução nos custos de transporte, o Brasil ainda possui 80% da área total com custos de transportes baixos em todos os cenários, variando entre 894.281 km² (Cenário II) e 935.330 km² (Cenário VII). Tais áreas estão localizadas principalmente nos estados de Mato Grosso e Pará, onde já existem vastos plantios de soja.

Os cenários de infra-estrutura que incluem a pavimentação de estradas (VIII, IX e XI) resultam em reduções substanciais nos custos de transporte se comparados aos cenários nos quais foram previstas apenas hidrovias (II, III e IV), e afetam uma área até duas vezes maior do que a afetada pelas vias de navegação.

Cenários de rentabilidade da soja

Sob as condições atuais, cerca de 853.474 km² (40%) da área de estudo apresentam potencial de alcançar alta rentabilidade no cultivo da soja (superior a US\$300/hectare/ano)¹⁴. Do total de área com potencial de gerar altos lucros, 57% está localizada em áreas de floresta, 25% em áreas agrícolas e 15% em campos e savanas (Figura 4: Página 54). A maior parte das áreas de alta rentabilidade está localizada no Mato Grosso, Brasil (60%), e Santa Cruz, Bolívia (14%), onde a malha viária é mais bem desenvolvida. Uma área de 166.405 km² com potencial de alto lucro localiza-se sobre terras indígenas e protegidas da Bolívia (52%), do Brasil (46%) e do Peru (1%). A maior parte dessas áreas está legalmente fora dos limites de produção da soja, não obstante estejam sujeitas à pressão crescente dos plantadores de soja.

Com a nova infra-estrutura, a área com potencial de alta rentabilidade varia de 860.068 km² (Cenário II) a 996.223 km² (Cenário VII), isto é, ocorrem aumentos de 1% e 17%, respectivamente (Tabela 5 e Anexo 2: Página 62).

Considerando os cenários com alta probabilidade de implementação em médio prazo (II, V, VIII, IX, X, XI e XII), observamos que a construção das hidrelétricas de Jirau e Santo Antônio e a pavimentação do Corredor Norte e da Estrada do Pacífico (ambos incluídos no Cenário XII) causariam o maior aumento (123.329 km²) na área considerada de alto lucro para o plantio de soja. Desse aumento, 80% estariam sobre áreas de floresta, 11% sobre áreas de campos e savanas e 7% sobre áreas agrícolas. Nesse cenário, 63% do aumento total se daria na Bolívia, 29% no Brasil e 8% no Peru. Mais de 80% da área potencial de expansão da soja estaria

¹⁴ Em termos práticos, os plantadores de soja gastam em média US\$250/ha em custos de produção para cultivar a soja (Embrapa, 2002). Tais custos de produção não foram incluídos em nossas estimativas. Conseqüentemente, escolhemos \$300/ha como o valor mínimo para considerarmos uma área com potencial de rendimentos altos para o cultivo da soja, assumindo um lucro superior a 15% depois de deduzidos esses custos de produção.

localizada nos departamentos de Pando e Beni. Já no Brasil e Peru, os principais estados afetados pelos projetos de infra-estrutura seriam o Acre e Madre Dios, respectivamente. O aumento da área com rentabilidade alta prevista no Cenário XII englobaria 37.692 km² de áreas protegidas e terras indígenas na Bolívia (73%), Brasil (22%) e Peru (5%).

TABELA 5 - ÁREA DE ALTA RENTABILIDADE DA SOJA (>= US\$300/HA)

Cenários	Área Total km ²	Aumento	
		km ²	%
I	853.474		
II	860.068	6.594	0,8%
III	875.738	22.264	3%
IV	927.526	74.052	9%
V	912.733	59.259	7%
VI	929.401	75.927	9%
VII	996.223	142.749	17%
VIII	906.441	52.967	6%
IX	930.914	77.440	9%
X	937.206	83.732	10%
XI	974.685	121.211	14%
XII	976.803	123.329	14%

Avaliações individuais das hidroelétricas de Jirau e Santo Antônio (Cenário II) e do Corredor Norte e da Estrada do Pacífico (Cenário XI) revelam que aos projetos viários seriam atribuídos mais de 90% dos 123.329 km² de aumento na área com potencial de alto lucro, e que esses afetariam principalmente o estado do Acre e os departamentos de Pando e Beni (Figura 5: Página 55). A construção das hidroelétricas não alteraria substancialmente as rotas de escoamento da soja para os portos de exportação e, desta forma, teria um impacto mínimo no aumento de área atrativa para o plantio da cultura (menos de 1 %). As barragens afetariam principalmente a expansão da soja nos estados brasileiros de Rondônia e Acre (Figura 6: Página 56).

O Cenário VII (construção de quatro hidroelétricas e a pavimentação do Corredor Norte), com baixa probabilidade de implantação, seria, do ponto de vista ambiental, o mais pessimista, caso as áreas tornadas atrativas à soja fossem efetivamente convertidas. Essa expansão responderia por um aumento de 853.474 km² para aproximadamente um milhão de km², ou seja, um aumento de 17%, dos quais 23% seriam alocados em áreas protegidas e 12% sobre terras indígenas.

De maneira geral, as melhorias na malha viária teriam um maior potencial de expandir a fronteira agrícola do que os projetos de navegação do rio Madeira. Por exemplo, a

área potencial para cultivo aumentaria em cerca de sete vezes caso a pavimentação do Corredor Norte acontecesse (Cenário VIII) se comparada à construção das hidroelétricas de Jirau e Santo Antônio (Cenário II). A pavimentação do Corredor Norte e da Estrada do Pacífico (Cenário XI) aumentaria a área potencial de soja em 114.617 km², ou seja, 64% mais que a construção das quatro hidrelétricas na área de estudo (Cenário IV). Estudos prévios indicam que a malha viária é sozinha o fator determinante mais forte da expansão da fronteira agrícola e conseqüente desmatamento em regiões tropicais (Kaimowitz e Angelsen, 1998). Mais de dois terços do desmatamento na Amazônia se dá dentro de uma faixa de 50 km a partir das margens das rodovias pavimentadas, onde a agricultura, a pecuária e a extração madeireira são economicamente viáveis (Nepstad et al., 2001; Alves, 2002).



{ Conclusões

ossos resultados indicam que os futuros projetos de hidrovias e de pavimentação de rodovias na região fronteira entre Bolívia, Brasil e Peru, no sudoeste da bacia Amazônica, têm potencial significativo para impulsionar a expansão da soja através da redução dos custos de transporte. Em todos os cenários¹⁵ simulados, a região norte da Bolívia seria a mais fortemente impactada tanto em termos econômicos quanto ecológicos. No entanto, o estado do Mato Grosso continuaria a apresentar a maior área total com altos rendimentos potenciais para o cultivo da soja.

Dentre os cenários classificados como de alta probabilidade de implementação em médio prazo, o Cenário XII seria o causador dos maiores impactos tanto econômicos quanto ecológicos. A construção das hidrelétricas de Jirau e Santo Antônio e a pavimentação do Corredor Norte e da Rodovia Interoceânica, todos considerados nesse cenário, expandiriam a área com alta rentabilidade potencial da soja de 853.474 km² para 976.803 km², uma mudança de 13%. A floresta seria a categoria de uso do solo mais afetada.

Além de o estudo demonstrar o alto potencial que as estradas e barragens teriam em estimular a expansão da soja, tais projetos teriam também outros impactos não avaliados. Embora ainda esteja na fase de licenciamento, apenas a expectativa de construção das barragens de Jirau e Santo Antônio já causaram impactos como desmatamento ilegal, migração e ocupação desordenada¹⁶ no distrito de Jaci-Paraná em Porto Velho (Derivi, 2006). Os projetos citados também teriam impacto sobre a Terra Indígena Karitiana. Haveria perda de espécies migratórias e de habitats terrestres e aquáticos. Como citado anteriormente, outros impactos incluiriam a interrupção no transporte de sedimentos, inundações, subida do nível do lençol freático e alterações na qualidade da água, entre outros impactos (Furnas/Odebrecht/Leme, 2005; IRN, 2006). Entre Porto Velho e a foz do rio Manicoré está localizado o ponto no qual são registradas as maiores flutuações do nível do rio para toda a Bacia Amazônica (Goulding, 2003), e essa dinâmica poderia ser alterada pelas barragens. Os impactos se estenderiam também rio acima em direção à Bolívia, uma vez que o rio Madeira drena praticamente todo o território amazônico desse país, uma área de 724,000 km² ou 66% do território nacional boliviano. A magnitude e amplitude desses impactos poderiam tornar o Complexo do Madeira mais ambientalmente nocivo do que as estradas, e desta forma, merece outros estudos complementares.

A maior parte dos cenários (exceto Cenário II) indica que os investimentos em infraestrutura provocariam impactos indiretos consideráveis nos ecossistemas bolivianos, incluindo ameaças permanentes a unidades de conservação e terras indígenas. É

¹⁵ Exceto para o Cenário II, no qual os estados de Rondônia e Acre no Brasil seriam os mais afetados.

¹⁶ Furnas e Odebrecht, as empresas proponentes, declararam que os projetos seriam responsáveis pela criação de cerca de 20.000 empregos diretos em cada uma das usinas. Seus representantes salientaram que seria dada prioridade à mão de obra local em todas as comunidades afetadas pelas instalações (Furnas/Odebrecht/Leme, 2005; Derivi, 2006).

importante salientar que nossas projeções de expansão da soja não se limitam a áreas fora de unidades de conservação e terras indígenas. Tais áreas apresentam mecanismos legais que impedem a conversão dos ecossistemas naturais que têm se mostrado efetivos – em níveis variáveis – na prevenção do desmatamento (Nepstad et al. 2006). Sendo assim, teoricamente a área efetiva de expansão da soja seria menor do que a projetada em nosso estudo. No entanto, mesmo que não fossem afetadas pelo desmatamento, essas áreas, no mínimo, estariam sob risco de isolamento à medida que as áreas do entorno fossem convertidas, e sofreriam mais com atividades como extração de madeira e caça ilegais. Tais pressões também tenderiam a aumentar os custos de fiscalização dos limites de unidades de conservação, bem como da aplicação da lei (Fleck & Painter, 2007).

A conservação de espécies fora das áreas protegidas também requer atenção à medida que novas infra-estruturas são consideradas. Por exemplo, há espécies de primatas endêmicos (*Callicebus ollalae* e *C. modestus*; Felton, et al. 2006; Martinez e Wallace, *in press*) e uma espécie de arara (*Ara glaucogularis*; Armonia, 2005) com distribuição geográfica restrita ao longo do Corredor Norte que ainda encontram-se desprotegidas. Algumas espécies habitam pequenas manchas de floresta ao longo das savanas de Beni, e seriam particularmente vulneráveis à perda de habitats em função da expansão da soja. Com a pavimentação da rodovia, será necessária a adoção de medidas intensivas e coordenadas no âmbito da conservação, incluindo a criação de novas unidades de conservação antes que as obras se iniciem. Outras espécies e habitats chave, passíveis de serem afetados pela expansão da soja, também deverão ser identificados, devendo ser adotadas medidas apropriadas para promover sua conservação.

Há importantes limitações com respeito ao conjunto de dados e à análise que podem afetar a precisão de nossos resultados. Por exemplo, as simulações mostram alta rentabilidade para plantios de soja em áreas do noroeste da Bolívia onde ainda não há plantios, um fator possivelmente gerado por dados incompletos da malha viária. Os dados sobre a malha viária não foram abrangentes no sentido de incluir todas as categorias de estradas, condições de superfície e tipo de relevo ao longo de cada via. Limitamo-nos a utilizar os valores médios de custos de transporte em estradas pavimentadas e não pavimentadas. Da mesma forma, estimamos os custos de transporte da soja assumindo que esses refletem a distância de maneira razoavelmente consistente. Na realidade, os custos de transporte raramente estão embasados apenas no princípio da distância. Os cálculos de custos de frete são complexos e delineados por vários fatores além da distância, tais como tarifas decrescentes, agrupamentos e concorrência.

A baixa resolução dos mapas de solo e clima também poderia ter afetado nossas projeções. É difícil incorporar ao modelo, por exemplo, variáveis como as restrições de cada tipo de solo associadas ao pH e a profundidade da raiz devido à falta de um conjunto de dados com alta resolução. Apesar de tais limitações, no entanto, o estudo

fornece um importante indicativo da magnitude potencial dos impactos de projetos de infra-estrutura sobre a Bacia Amazônica.

Por fim, é importante ressaltar que esse estudo não é uma análise de custo-benefício. Não calculamos os custos dos projetos de infra-estrutura, nem os comparamos aos seus benefícios utilizando uma unidade de medida comum. Desta forma, nossos resultados não tratam da viabilidade financeira ou econômica, e certamente não recomendam ou indicam se um projeto em particular deveria ou não ser executado. O presente estudo apresenta um arcabouço conceitual, matemático e cartográfico para se entender o potencial de expansão da soja e os impactos ambientais resultantes dos investimentos em infra-estrutura. Adicionalmente, fornece algumas indicações sobre os potenciais impactos sociais gerados pela concentração da propriedade da terra que comumente acompanha o cultivo da soja. Tal informação poderá ser utilizada pelos formuladores de políticas públicas e agências de desenvolvimento, ao considerarem novos investimentos, e pelas organizações conservacionistas na projeção de futuras ameaças ambientais.



{ Referências

- ALENCAR, A., MICOL, L., REID, J., AMEND, M., OLIVEIRA, M., ZEIDEMANN, V., JÚNIOR, W., (2005). A pavimentação da BR-163 e os desafios à sustentabilidade: uma análise econômica, social e ambiental. Conservation Strategy Fund, Brasil, pp. 28.
- ALENCAR, A., NEPSTAD, D., McGRATH, D., MOUTINHO, P., PACHECO, P., VERA-DIAZ, M.D.C. e SOARES, B., (2004). Desmatamento na Amazônia: Indo Além da Emergência Crônica. IPAM, Belém, Brasil, pp. 85.
- ALVES, D., (2002). An Analysis of the Geographical Patterns of Deforestation in the Brazilian Amazon in the Period 1991-1996. In: C. H. Wood e R. Porro (Eds.), Deforestation and Land Use in the Amazon. University Press of Florida, Gainesville, FL, pp. 95-106.
- ANAPO, (2004). Anuario Estadístico 2004.
- ARMONIA (2005). Reporte Técnico 2005, Programa para la Conservación de la Paraba Barba Azul.
- BARROS, A. C. e UHL, C., (1995). Logging along the Amazon River and Estuary: Patterns, Problems and Potential. *Forest Ecology and Management* 77: 87-105.
- BARROS, A. C. e VERÍSSIMO, A., (1996). A Expansão da Atividade Madeireira na Amazônia: Impactos e Perspectivas para o Desenvolvimento Sustentável no Pará. Belém: Imazon. 168 p.
- CÁCERES VEGA, F., (2000). Estudio de los impactos actuales y potenciales debido a inmigración reciente a la zona de influencia del PN-ANMI Madidi. CARE.
- CNO S.A., (2003). Complexo do Rio Madeira. 29ª Reunião da Câmara Técnica de Análise de Projeto – CTAP, 28 de Outubro de 2003. Power Point Presentation.
- DERIVI, C., (2006). Madeira River - Land Seculation and Deforestation in the Area of Influence of the Power Plants is already a Reality. 05/19/2006. Disponível em: [<http://www.amazonia.org.br/english/noticias/noticia.cfm?id=209524>].
- DHV, (2006). Evaluación Ambiental Estratégica del Corredor Norte de Bolivia. Resumen Ejecutivo, La Paz, Bolivia.

- EMBRAPA (2002). Estimativa do custo de produção de soja, safra 2002/03. Comunicado Técnico 58.
- EVA, H. D., MIRANDA, E. E. de., DI BELLA, C. M., GOND, V., HUBER, O., SGRENZAROLI, M., JONES, S., COUTINHO, A., DORADO, A., GUIMARÃES, M., ELVIDGE, C., ACHARD, F., BELWARD, A. S., BARTHOLOMÉ, E., BARALDI, A., GRANDI, G. D., VOGT, P., FRITZ, S. e HARTLEY, A., (2002). A Vegetation Map of South America. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg. 29 p.
- FAO (1990). Guidelines for Soil Description. 3rd Edition (Revised). FAO, Rome.
- FEARNSIDE, P. M., (1986). Spatial Concentration of Deforestation in the Brazilian Amazon. *Ambio* 15(2): 72-79.
- FEARNSIDE, P. M., (1987). Causes of Deforestation in the Brazilian Amazon. In: Dickinson, R. F. (Eds.), *The Geophysiology of Amazonia: Vegetation and Climate Interactions*. John Wiley & Sons, New York. 526 p.
- FEARNSIDE, P. M., (1997). Limiting Factors for Development of Agriculture and Ranching in Brazilian Amazonia. *Revista Brasileira de Biologia* 57(4): 531-549.
- FEARNSIDE, P. M., (2001). Soybean Cultivation as a Threat to the Environment in Brazil. *Environmental Conservation* 28: 23-38.
- FELTON, A., FELTON, A., WALLACE, R. e H. GÓMEZ (2006). Identification, behavioral observations, and notes on the distribution of the Titi Monkeys *Callicebus modestus* Lönnberg, 1939 and *Callicebus olallae*, Lönnberg, 1939. *Primate Conservation* (20):41-46.
- FLECK, L. C. e PAINTER, L., (2007). Carreteras y áreas protegidas: evaluación económica y costos de mitigación ambiental de carreteras proyectadas para el norte de la Amazonía Boliviana. Brasil: Conservation Strategy Fund.
- FURNAS/ODEBRECHT/LEME, (2005). Estudo de Impacto Ambiental: Aproveitamentos Hidrelétricos Santo Antônio e Jirau Rio Madeira – RO.

- GOULDING, M., (1999). Amazon: The Flooded Forest. Sterling Pub Co Inc. 208 p.
- GOULDING, M., BARTHEM, R. e FERREIRA, E., (2003). The Smithsonian Atlas of the Amazon. Washington e London. Smithsonian Books. 256 p.
- GUIMARÃES & UHL., (1998). O Transporte Rural na Amazônia Oriental: Limites, Opções e Oportunidades. Belém: Imazon. 28 p. (Série Amazônia, n.12)
- HARTWIG, E. E. e R. A. S. Kihl, (1979). Identification and Utilization of a Delayed Flowering Character in Soybean for Short-day Conditions. Field Crops Research 2: 145-151.
- IBGE, (1996). Brazilian Agricultural Census. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, CD.
- IBGE, (2006). Municipal Agricultural Production (PAM). Disponível em: [<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo2.asp?e=v&tp=PA&z=t&to=10>].
- INEI, (1994). III Censo Nacional Agropecuário (Peru). Disponível em: [<http://www.inei.gob.pe/>]
- IRN, (2006). The Amazon under Threat: Damming the Madeira. Disponível em: [<http://www.irn.org/pubs/factsheets/madeira/MadeiraFact.pdf#search=%22jira%20and%20santo%20Antônio%22>].
- ISRIC, (1998). A Soils and Terrain Digital Database for Latin and Central America and the Caribbean (SOTERLAC). Disponível em: [<http://www.isric.nl>].
- JONES, A. J., DICKEY, E. C., EISENHAEUER, D. D. e WIESE, R. A., (2005). Identification of Soil Compaction and Its Limitations to Root Growth. Cooperative Extension, Institute of Agriculture and Natural Resources, University of Nebraska-Lincoln. Disponível em: [<http://ianrpubs.unl.edu/soil/g831.htm>].
- KAIMOWITZ, D. e ANGELSEN, A., (1998). Economic Models of Tropical Deforestation: A Review. Center of the International Forestry Research (CIFOR), Bogor, Indonesia.
- KAUFMANN, R. e SNELL, S., (1997). A Biophysical Model of Corn Yield: Integrating Physical and Economic Determinants. American Journal of Agricultural Economics 79(1): 178-180.

- MARTINEZ, J. & R. WALLACE (in press). Further Notes on the Distribution of the Bolivian Endemic Titi Monkeys, *Callicebus modestus* and *Callicebus olallae*.
- MOLINA, Jorge, (2002?). El Megaproyecto Hidroeléctrico y de Navegación del Río Madera. In Geopolítica de los Recursos Naturales y Acuerdos Comerciales en América. FOBOMADE – Foro Boliviano sobre Medio Ambiente y Desarrollo.
- NASA/NCEP/NCAR, (2004). Climate Daily Data (1995-1996).
Disponível em: [<http://dss.ucar.edu/pub/reanalysis/>].
- NELSON, G., HARRIS, V. e STONE, S. W., (1999). Spatial Econometric Analysis and Projection Evaluation: Modeling Land Use Change in the Darién. Inter-American Development Bank, Sustainable Development Department, Environment Division., Washington D.C.
- NEPSTAD, D., CARVALHO, G., BARROS, A. C., ALENCAR, A., CAPOBIANCO, J. P., BISHOP, J., MOUTINHO, P., LEFEBVRE, P. e SILVA Jr, U., (2001). Road Paving, Fire Regime Feedbacks, and the Future of Amazon Forests. *Forest Ecology & Mgt.* 154: 395-407.
- NEPSTAD, D., SCHWARTZMAN, S., BAMBERGER, B., SANTILLI, M., RAY, D., SCHLESINGER, P., LEFEBVRE, P., ALENCAR, A., PRINZ, E., FISKE, G. e ROLLA, A., (2006). Inhibition of Amazon Deforestation and Fire by Parks and Indigenous Lands. *Conservation Biology* 20(1): 65-73.
- PCE/FURNAS/CNO, (2002). Inventário Hidrelétrico do Rio Madeira, trecho Porto Velho-Abunã, relatório final. Novembro, 2002.
- PNUD, (2000). Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil. CD. PNUD / IPEA / FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO.
- SIFRECA, (2006). Fretes Rodoviários, Hidroviários e Marítimos. Departamento de Economia, Administração e Sociologia, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP). Disponível em: [<http://sifreca.esalq.usp.br/sifreca/pt/fretes/rodoviaros/index.php>].
- SINCLAIR, T. R., (1986). Water and Nitrogen Limitations in Soybean Grain Production I. Model Development. *Field Crops Research* 15(2): 125-141. 1986/11.

- SINCLAIR, T. R., NEUMAIER, N., FARIAS, J. R. B. e NEPOMUCENO, A. L., (2005). Comparison of Vegetative Development in Soybean Cultivars for Low-Latitude Environments. *Field Crops Research* 92(1): 53-59. 2005/4/14.
- STEWART, C., (2004). The Santarém Agricultural Landscape, Pará, Brazil. Working Paper Yale School of Forestry and Environmental Studies.
- STONE, S. W., (1998). Using a geographic information system for applied policy analysis: the case of logging in the Eastern Amazon. *Ecological Economics* 27(1): 43-61. 1998/10.
- THE BRAZIL NATIONAL ASSOCIATION OF GRAIN EXPORTERS (ANEC)
- USDA-WASDE, 1983-2005. World Agricultural Supply and Demand Estimates. USDA, Office of the Chief Economics. Disponível em: [<http://usda.mannlib.cornell.edu/usda/usda.html>].
- VERA-DIAZ, M. D. C., KAUFMANN, R. e NEPSTAD, D., (2004). Spatial Variations of Soybean Transport Costs in Brazilian Amazon. Manuscript.
- VERA-DIAZ, M. D. C., KAUFMANN, R. e NEPSTAD, D., SCHLESINGER, P., (2006). An Interdisciplinary Model of Soybean Yield in the Amazon Basin: The Climatic, Edaphic, and Economic Determinants. Accepted in *Ecological Economics*, August, 2006.
- VERÍSSIMO, A., BARRETO, P., MATTOS, M., TARIFA, R. e UHL, C. (1992). Logging Impacts and Prospects for Sustainable Forest Management in an Old Amazon Frontier: the Case of Paragominas. *Forest Ecology and Management* 55: 169-199.
- VERÍSSIMO, A., BARRETO, P., TARIFA, R. e UHL, C., (1995). Extraction of a High-value Natural Resource in Amazônia: the Case of Mahogany. *Forest Ecology and Management* 72: 39-60.
- WHRC/IPAM/ISA, (2000). Pan Amazonian infrastructure database.
- WWF, (2006). Beni Savanna. Review in process. Disponível em: [http://www.worldwildlife.org/wildworld/profiles/terrestrial/nt/nt0702_full.html].

ZONISIG, DHV Consultores, ITC, (1997). Zonificación Agroecológica y Socioeconómica y Perfil Ambiental del Departamento de Pando. La Paz.



{ Figuras

FIGURA 1 - PROJETOS DE INFRA-ESTRUTURA

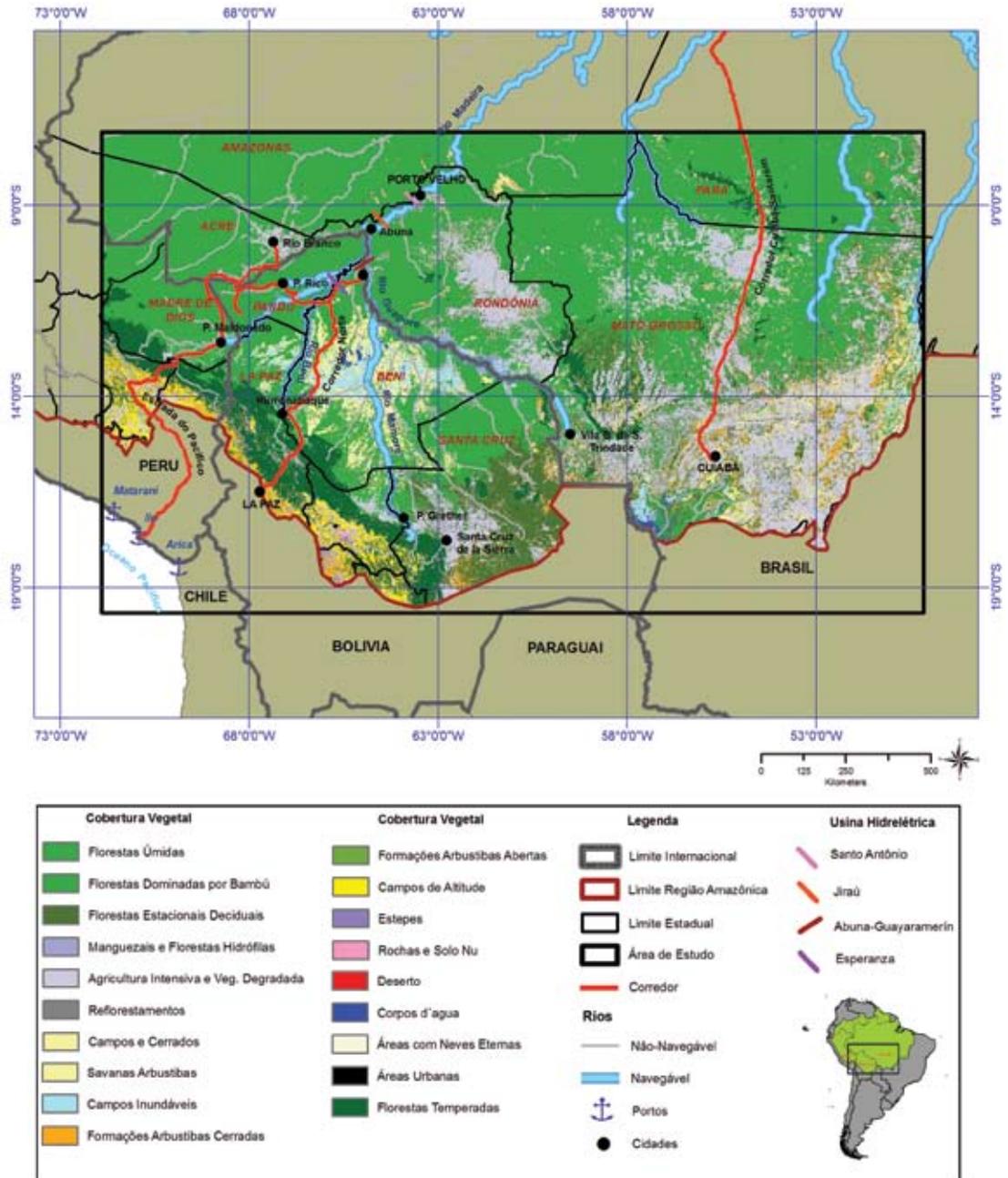


FIGURA 2 - REPRESENTAÇÃO DO MODELO DE PRODUTIVIDADE DA SOJA

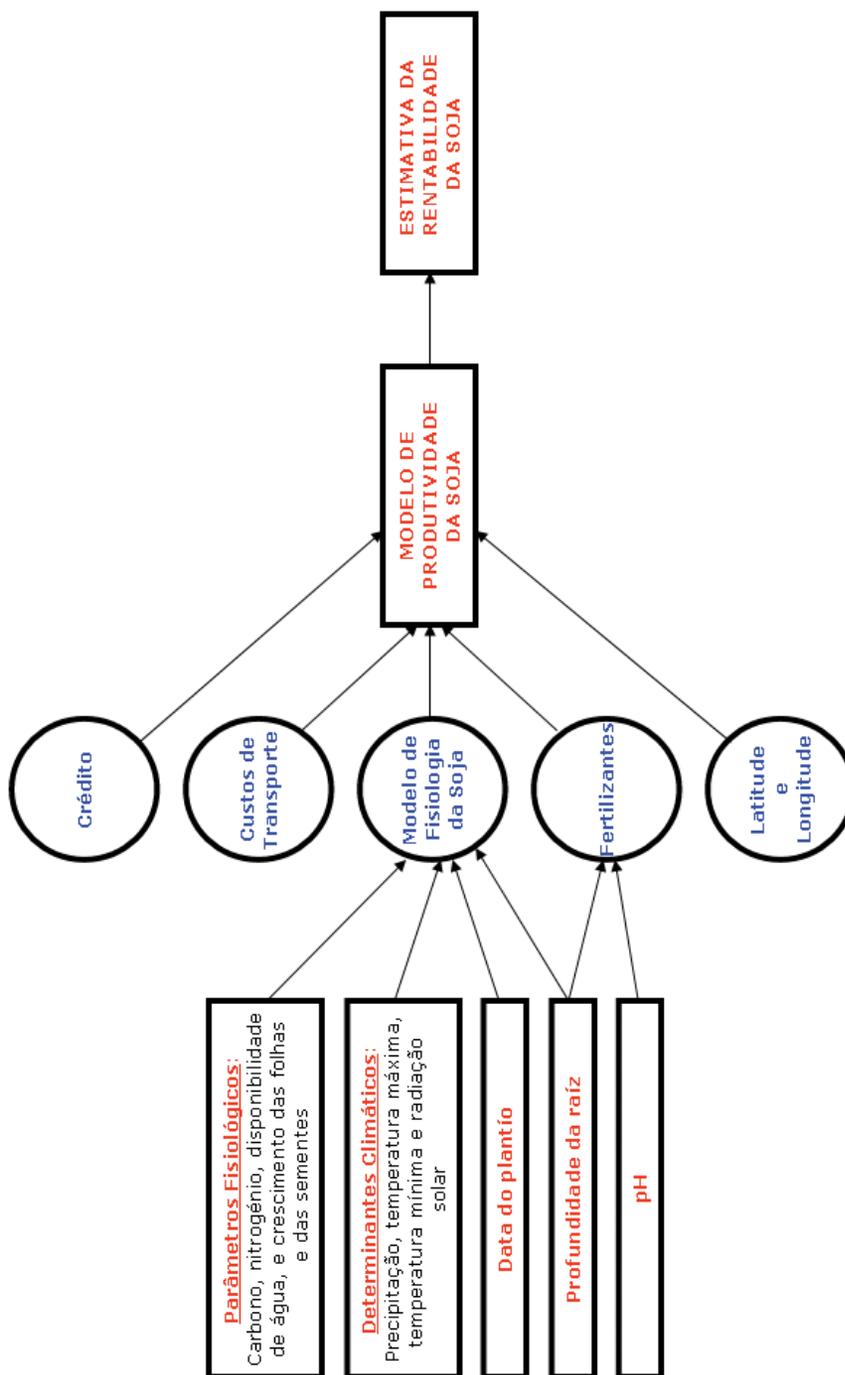


FIGURA 3 - MAPAS UTILIZADOS NA ELABORAÇÃO DO MAPA DE CUSTOS DE TRANSPORTE

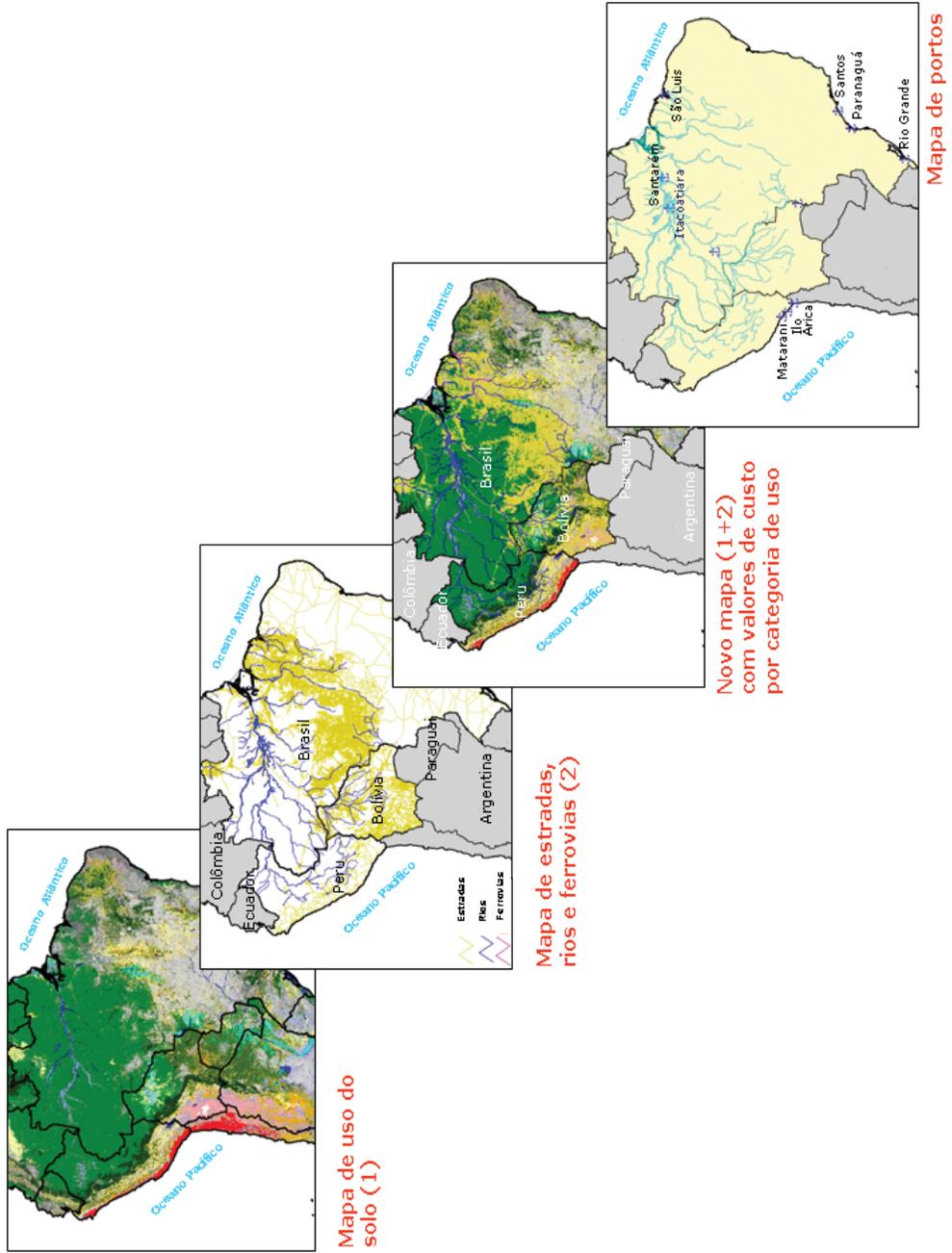


FIGURA 4 - MAPA DE RENTABILIDADE ATRATIVA AO CULTIVO DA SOJA SOB AS CONDIÇÕES ATUAIS

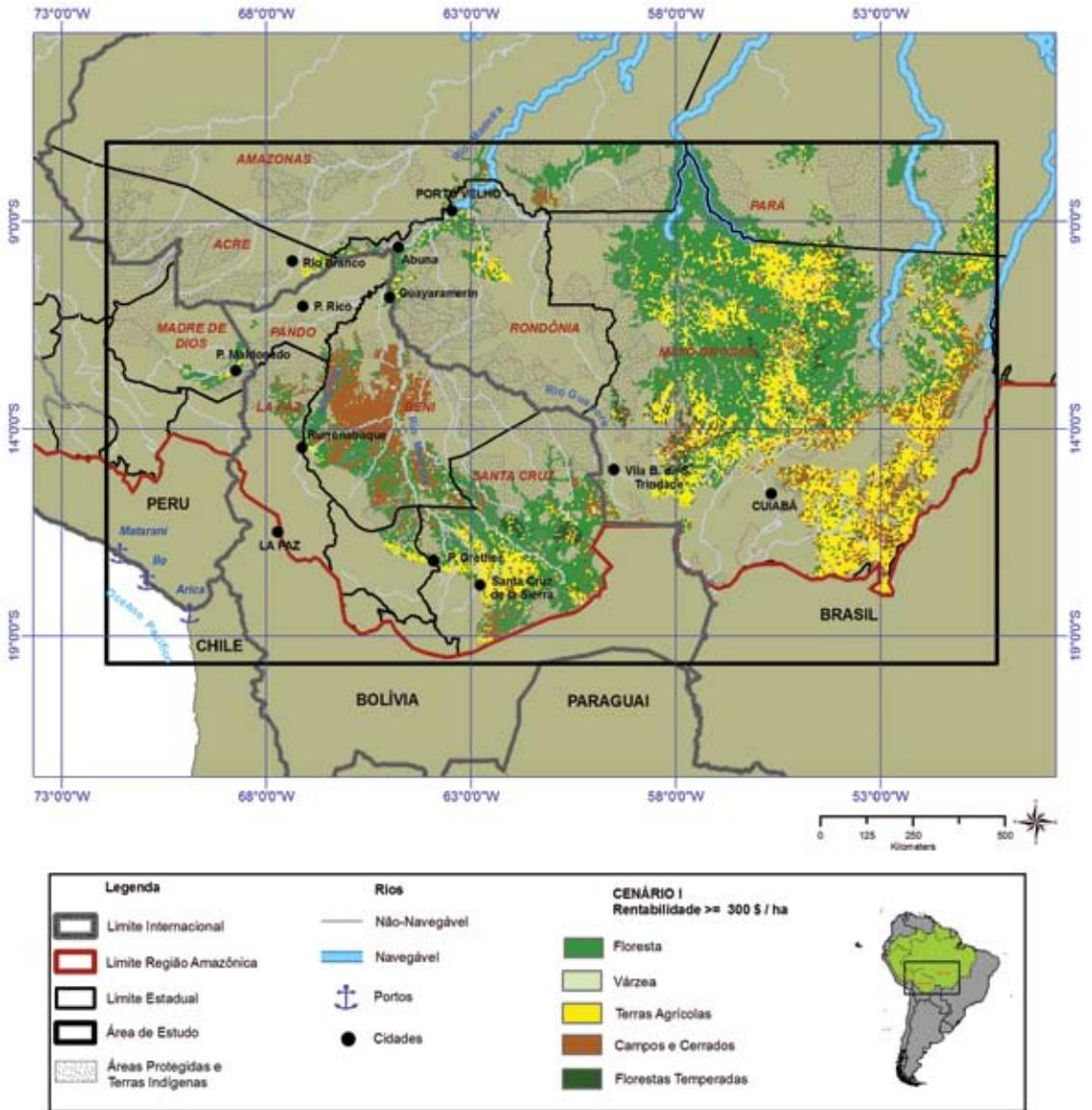


FIGURA 5 - INCREMENTO DA ÁREA ATRATIVA AO CULTIVO DE SOJA NO CENÁRIO XI

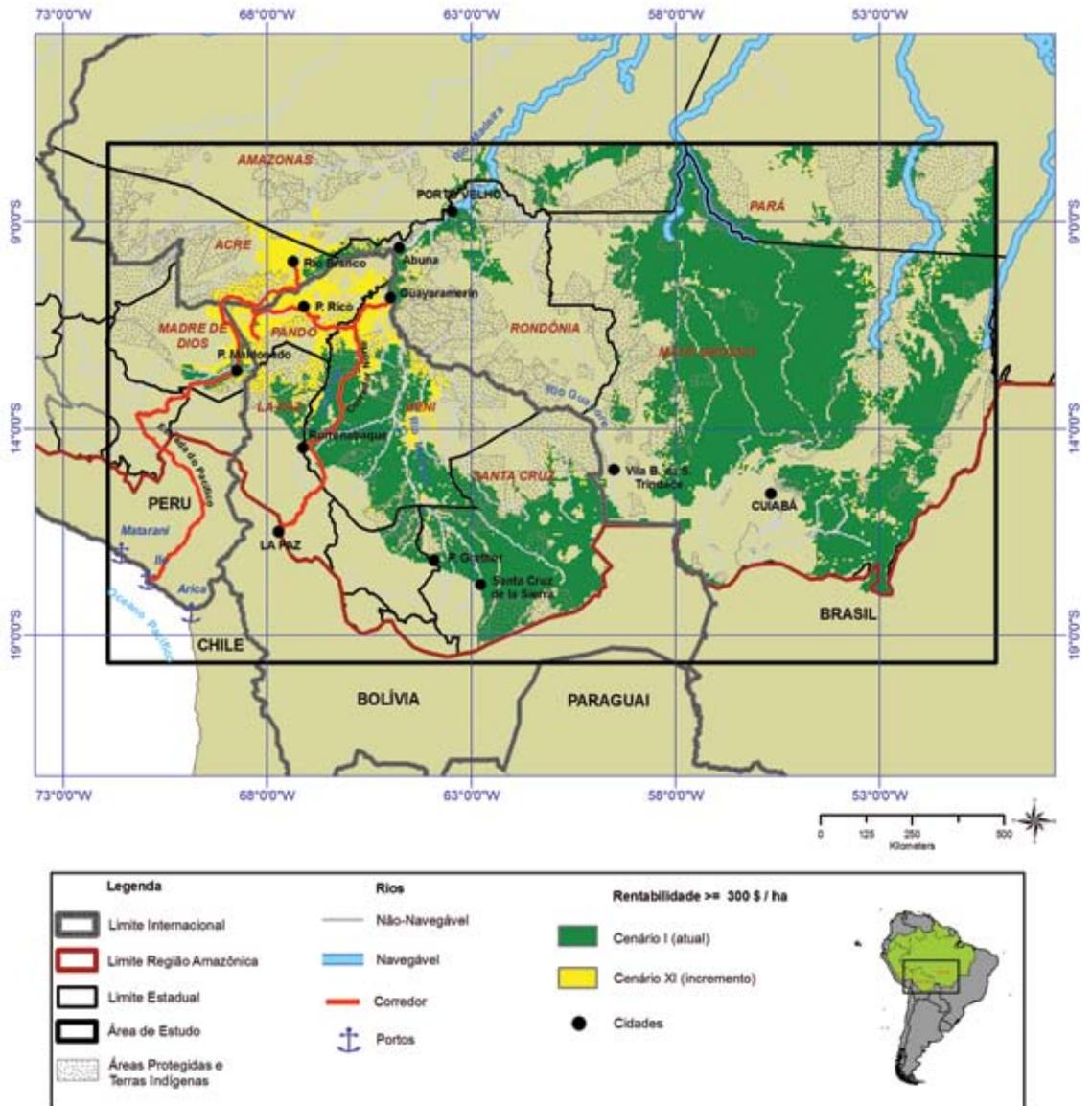
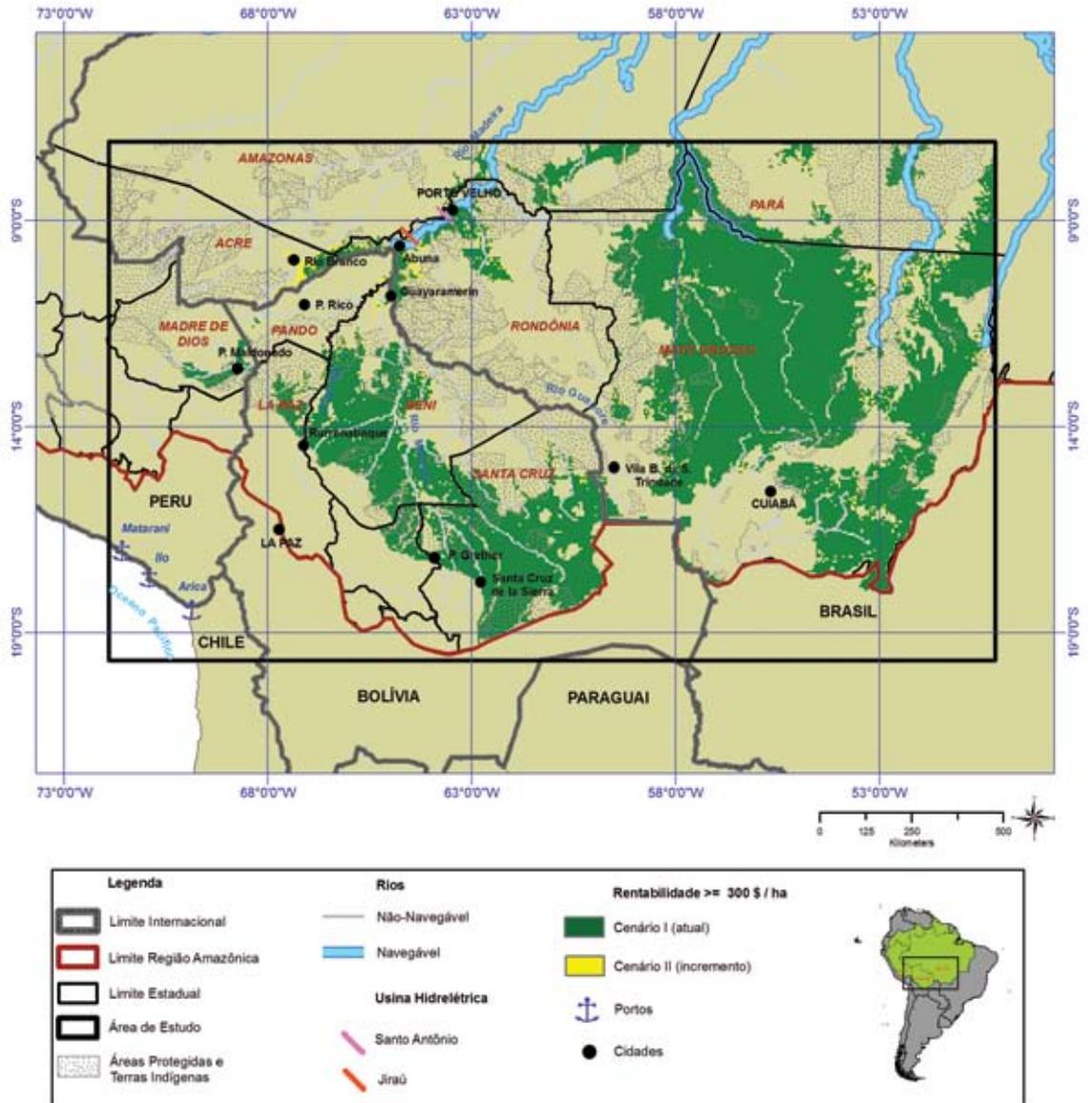


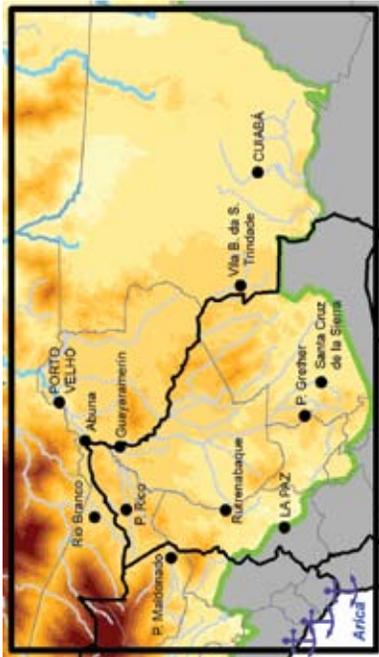
FIGURA 6 - INCREMENTO DA ÁREA ATRATIVA AO CULTIVO DE SOJA NO CENÁRIO II



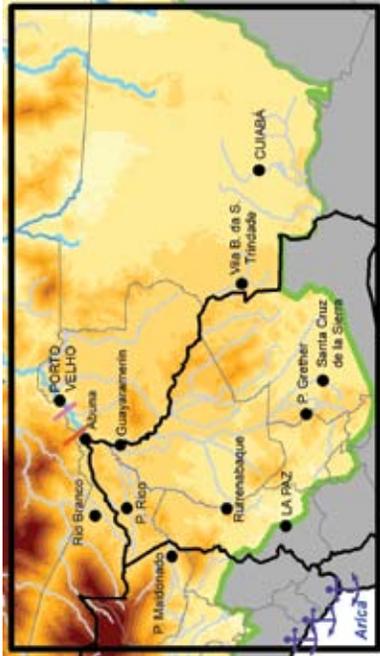
{ Anexos

ANEXO 1: CENÁRIOS DE CUSTOS DE TRANSPORTE DA SOJA (US\$/TON)

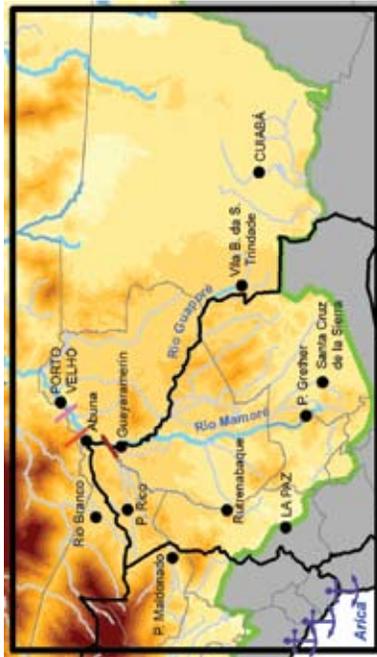
CENÁRIO I (ATUAL)



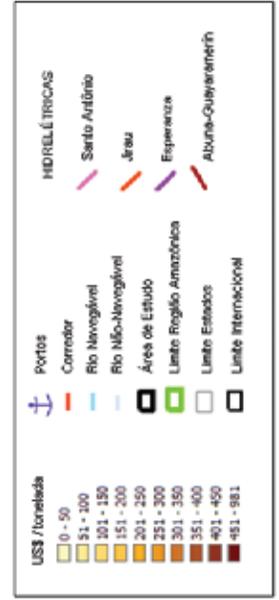
CENÁRIO II



CENÁRIO III



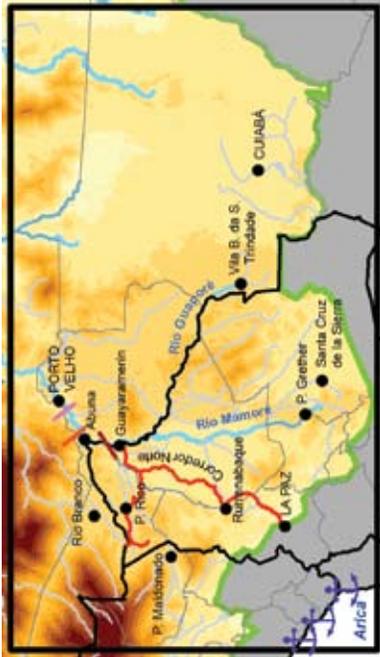
CENÁRIO IV



CENÁRIO V



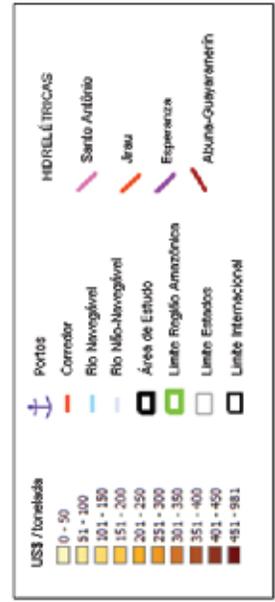
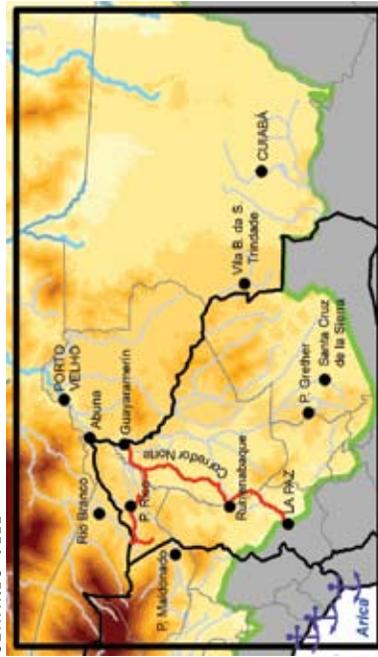
CENÁRIO VI



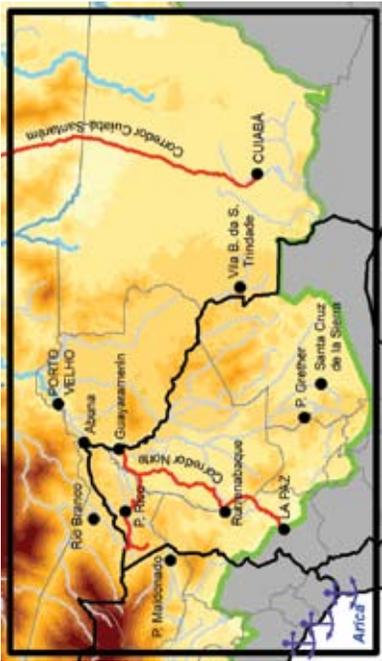
CENÁRIO VII



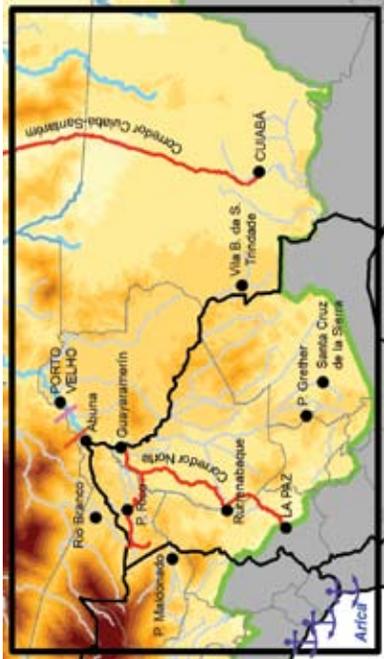
CENÁRIO VIII



CENÁRIO IX



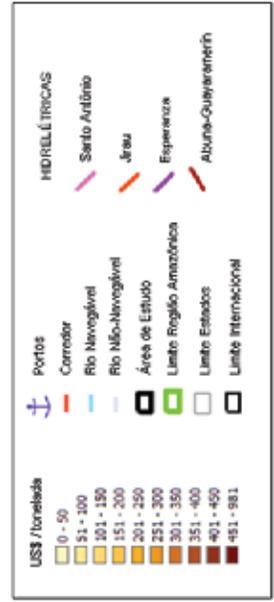
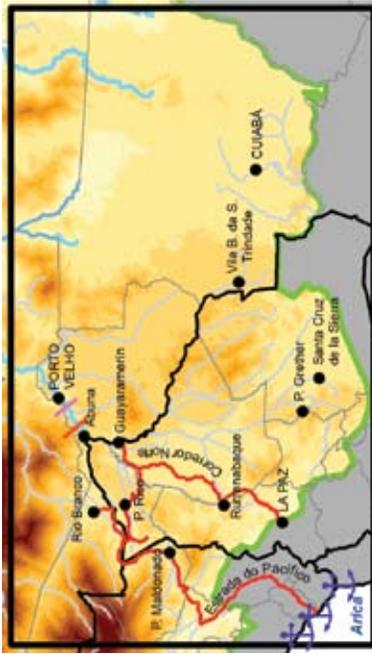
CENÁRIO X



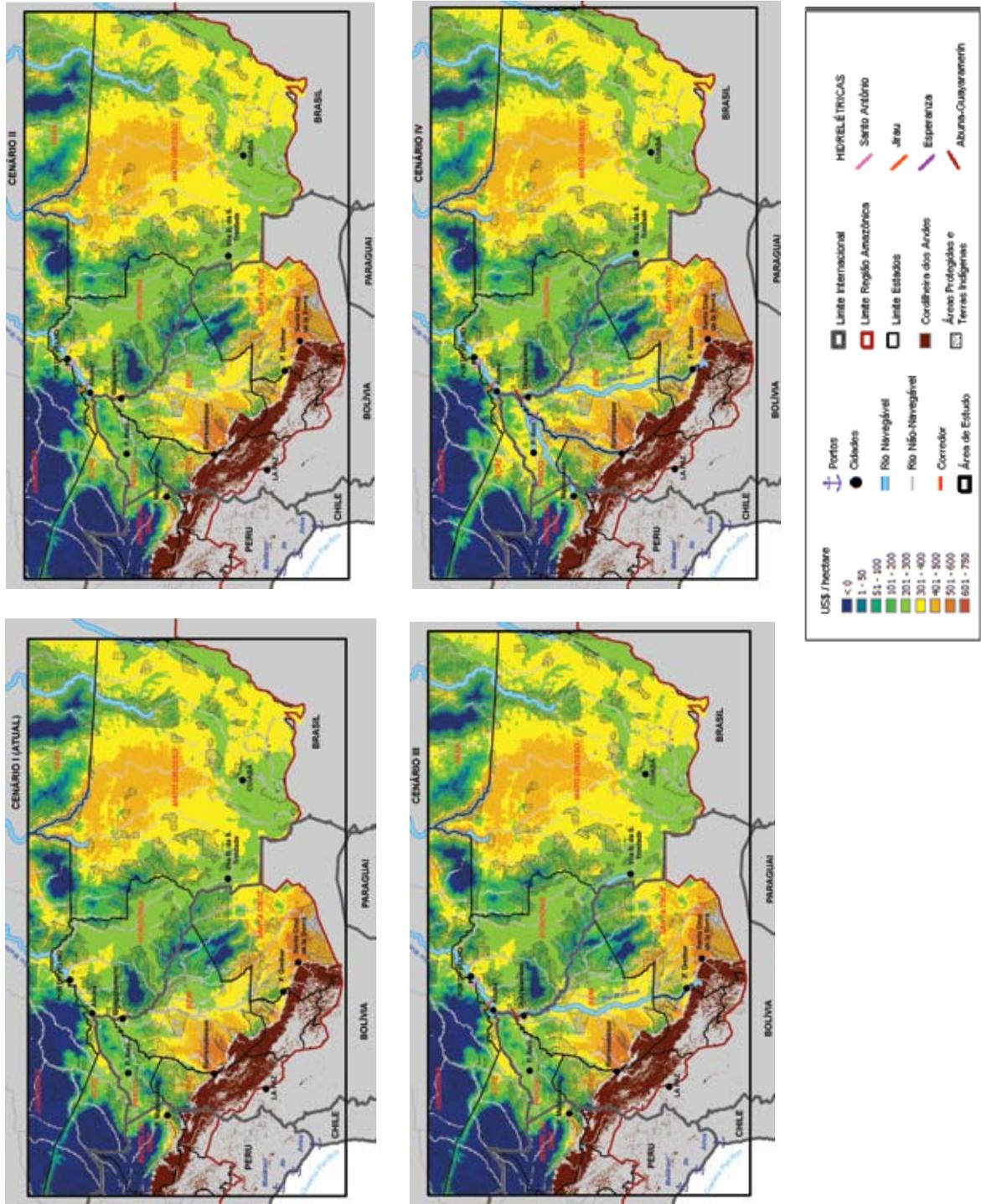
CENÁRIO XI

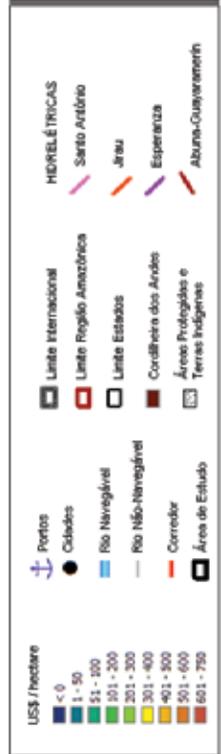
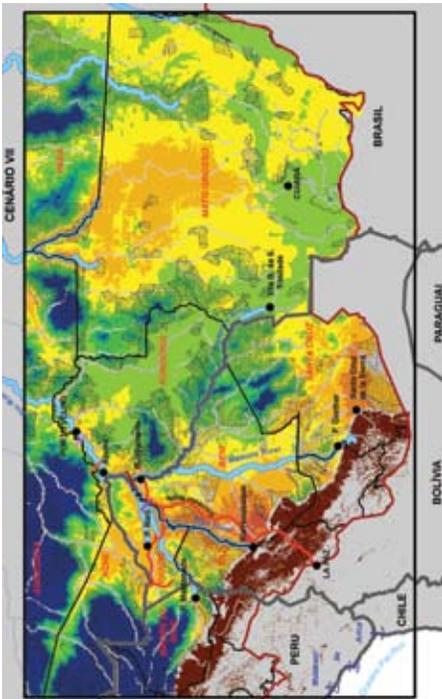
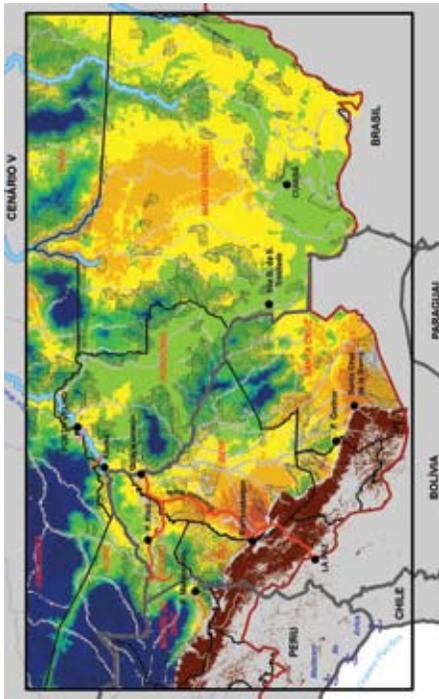
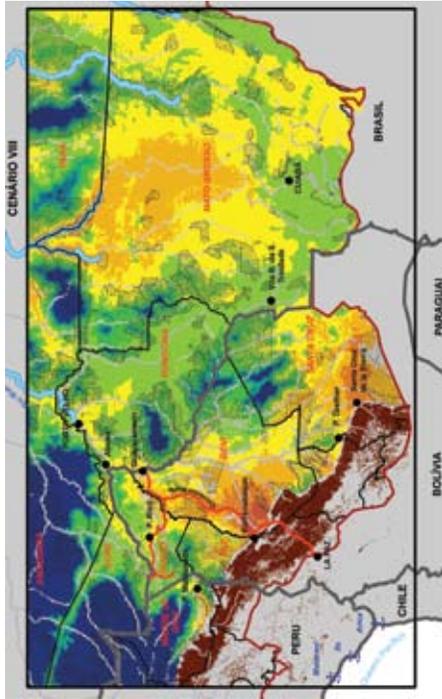
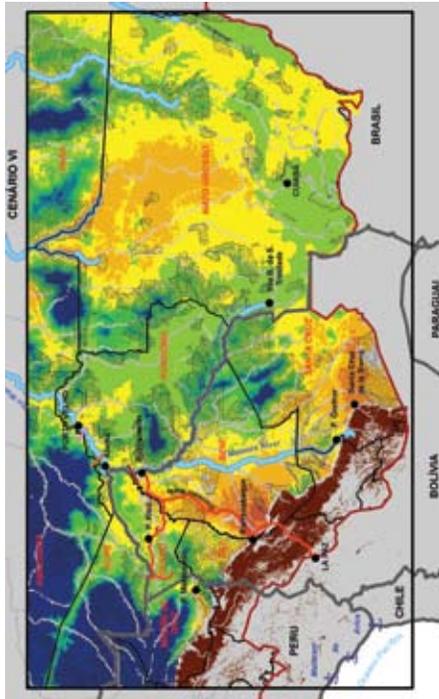


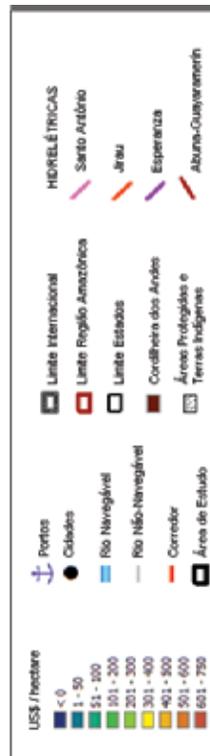
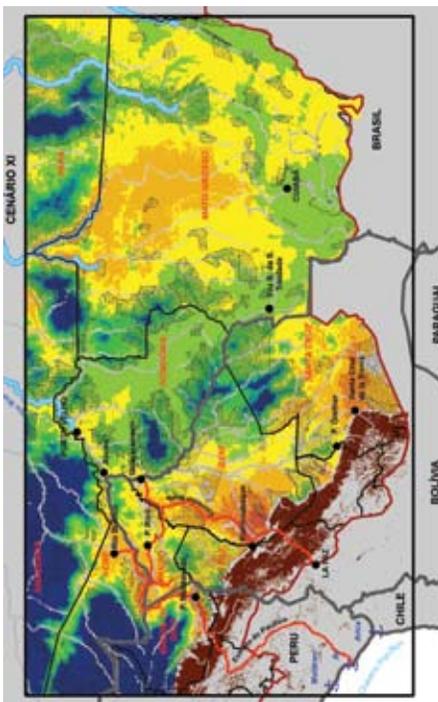
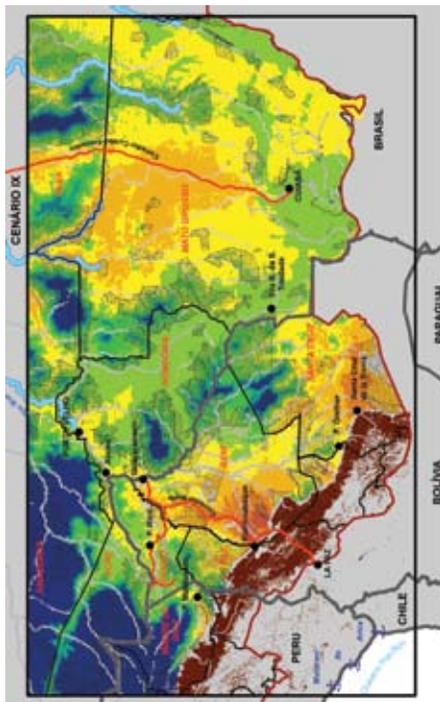
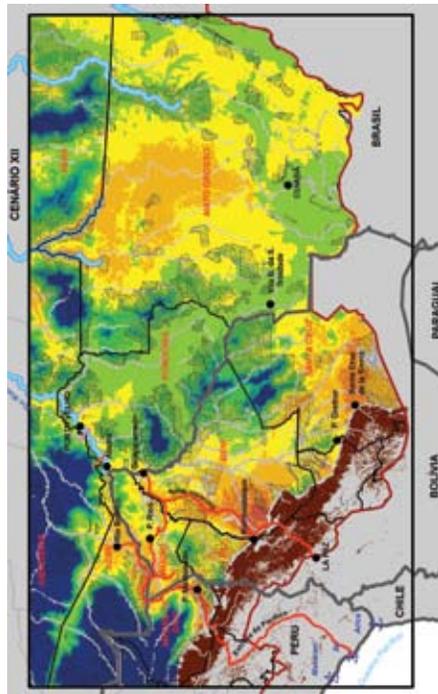
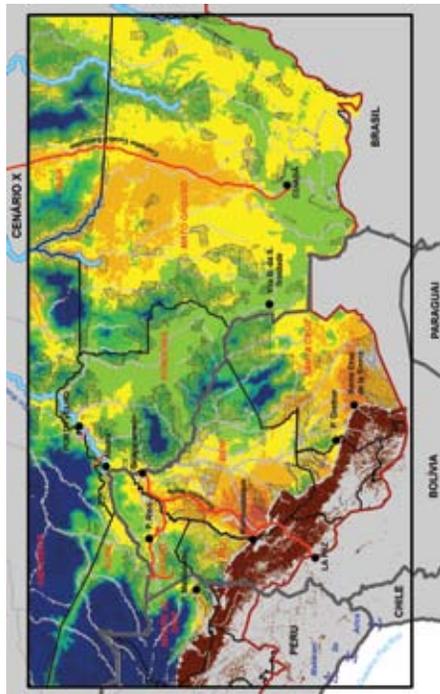
CENÁRIO XII



ANEXO 2 - CENÁRIOS DE RENDIMENTO DA SOJA (US\$/HA)







Série Técnica

Edição 1 - Análise de viabilidade sócio-econômico-ambiental da transposição de águas da bacia do rio Tocantins para o rio São Francisco na região do Jalapão/TO (2002)

fani mamede, paulo garcia e wilson cabral de souza júnior

Edição 2 - Valoração econômica do Parque Estadual Morro do Diabo (SP) (2003)

cristina adams, cristina aznar, ronaldo seroa da motta, ramón ortiz e john reid

Edição 3 - A pavimentação da BR-163 e os desafios à sustentabilidade: uma análise econômica, social e ambiental (2005)

ane alencar, laurent micol, john reid, marcos amend, marília oliveira, vivian zeideman e wilson cabral de souza júnior.

Edição 4 - Custos e benefícios do complexo hidrelétrico de Belo Monte (2006)

wilson cabral de souza júnior, john reid e neidja cristiane silvestre leitão

Edição 5 - Regional economic benefits from conservation: The case of Madidi (2006)

leonardo c. fleck, marcos amend, lilian paintere e john reid

Edição 6 - A road through Madidi: an environmental-economic analysis (2006)

leonardo c. fleck, lilian painter, john reid e marcos amend

Edição extra - Análisis de costo beneficio de cuatro proyectos hidroeléctricos en la cuenca Changuinola-Teribe (2006)

sarah cordero, ricardo montenegro, maribel mafla, irene burgués e john reid

Edição 7 - Efeitos de projetos de infra-estrutura de energia e transportes sobre a expansão da soja na bacia do rio Madeira (2007)

maria del carmen vera-díaz, john reid, britaldo soares filho, robert kaufmann e leonardo fleck

Edição 8 - Análisis económico y ambiental de carreteras propuestas dentro de la Reserva de la Biosfera Maya (2007)

víctor hugo ramos, irene burgués, leonardo c. fleck, byron castellanos, carlos albacete, gerardo paiz, piedad espinosa e john reid

Edição 9 - Análisis ambiental y económico de proyectos carreteros en la Selva Maya, un estudio a escala regional (2007)

dalia amor conde, irene burgués, leonardo fleck, carlos manterota e john reid

Edição 10 - Tenosique: Análisis económico-ambiental de un proyecto hidroeléctrico en el Río Usumacinta (2007)

israel amescua, gerardo carreón, javier marquez, rosa maría vidal, irene burgués, sarah cordero e john reid

REALIZAÇÃO



APOIO

