

2010

Estudo de Baixo Carbono para o Brasil

Relatório de Síntese Técnica

USO DA TERRA, MUDANÇAS DO USO DA TERRA E FLORESTAS

Coordenação

*Christophe de Gouvello, the World Bank
Britaldo S. Soares Filho, CSR-UFMG
André Nassar, ICONE*

Autores

*Britaldo S. Soares Filho e Letícia Hissa, UFMG
André Nassar, Leila Harfuch, Marcelo Melo Ramalho Moreira, Luciane
Chiodi Bachion e Laura Barcellos Antoniazzi, ICONE
Luis G. Barioni, Geraldo Martha Junior, Roberto D. Sainz, Bruno J. R.
Alves, e Magda A. de Lima, EMBRAPA
Oswaldo Martins, Magno Castelo Branco, e Renato Toledo, Iniciativa Verde
Manoel Regis Lima Verde Leal, CENEA
Fábio Marques, Rodrigo Ferreira, Luiz Goulart, e Thiago Mendes, PLANTAR
Christophe de Gouvello, Adriana Moreira, Barbara Farinelli, Jennifer
Meihuy Chang e Rogerio Pinto, The World Bank
Júlio Hato e Sérgio Pacca, USP*



2010

Estudo de Baixo Carbono para o Brasil

Relatório de Síntese Técnica

USO DA TERRA, MUDANÇAS DO USO DA TERRA E FLORESTAS

Coordenação

Christophe de Gouvello, the World Bank

Britaldo S. Soares Filho, CSR-UFMG

André Nassar, ICONE

Autores

Britaldo S. Soares Filho e Letícia Hissa, UFMG

André Nassar, Leila Harfuch, Marcelo Melo Ramalho Moreira, Luciane

Chiodi Bachion e Laura Barcellos Antoniazzi, ICONE

Luis G. Barioni, Geraldo Martha Junior, Roberto D. Sainz, Bruno J. R.

Alves, e Magda A. de Lima, EMBRAPA

Oswaldo Martins, Magno Castelo Branco, e Renato Toledo, Iniciativa Verde

Manoel Regis Lima Verde Leal, CENEA

Fábio Marques, Rodrigo Ferreira, Luiz Goulart, e Thiago Mendes, PLANTAR

Christophe de Gouvello, Adriana Moreira, Barbara Farinelli, Jennifer

Meihuy Chang e Rogerio Pinto, The World Bank

Júlio Hato e Sérgio Pacca, USP

1818 H Street, NW
Washington, DC 20433
Telefone: 202-473-1000
Internet: www.worldbank.org
Email: feedback@worldbank.org

Todos os direitos reservados

Este volume é um produto da equipe do Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento / Banco Mundial. Os resultados, interpretações e conclusões expressas neste volume não refletem necessariamente a opinião dos Diretores Executivos do Banco Mundial ou dos países por eles representados.

O Banco Mundial não garante a precisão das informações incluídas neste trabalho e não aceita qualquer responsabilidade por qualquer consequência da sua utilização. As fronteiras, cores, denominações e outras informações apresentadas em qualquer mapa deste trabalho não implicam qualquer opinião por parte do Banco Mundial sobre o status legal de qualquer território ou o endosso ou aceitação de tais fronteiras.

Direitos e Permissões

O material desta publicação é protegido por direitos autorais. A reprodução total ou parcial do texto deste documento sem permissão pode constituir violação da lei aplicável. O Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento / Banco Mundial incentiva a divulgação do seu trabalho e concede a permissão para reproduzir partes do mesmo, desde que citada a fonte.

Para permissões para fazer fotocópias ou reimprimir qualquer parte deste trabalho, favor enviar uma solicitação com informações completas para: Copyright Clearance Center Inc., 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, E.U.A., telefone: 978-750-8400, fax: 978-750-4470; Internet: www.copyright.com.

Todas as outras consultas sobre direitos e licenças, incluindo direitos subsidiários, devem ser dirigidos ao Gabinete do editor; o Banco Mundial, 1818 H Street, NW, Washington, DC, 20433, E.U.A., fax: 202-522-2422 e-mail: pubrights@worldbank.org.

O Programa de Assistência à Gestão do Setor de Energia (ESMAP) é um programa de conhecimento global e assistência técnica administrado pelo Banco Mundial, que fornece auxílio aos países de baixa e média renda com o objetivo de aumentar o saber-fazer e capacidade institucional dos mesmos para alcançar soluções ambientalmente sustentáveis no setor de energia que conduzem à redução da pobreza e ao crescimento econômico.

Para obter mais informações sobre o **Programa de Estudos de Baixo Carbono para Países** ou sobre o trabalho do ESMAP no âmbito das mudanças climáticas, visite-nos na www.esmap.org ou escreva para:



Energy Sector Management Assistance Program
The World Bank
1818 H Street, NW
Washington, DC 20433 USA
e-mail: esmap@worldbank.org
web: www.esmap.org

Índice

	Reconhecimento	
1.	INTRODUÇÃO	34
1.1.	Contexto do estudo de baixo carbono	36
1.2.	Abordagem do relatório síntese sobre LULUCF	37
2.	CENÁRIO DE REFERÊNCIA	39
2.1.	Emissões do uso do solo, mudanças no uso do solo, desmatamento, agricultura e pecuária	39
2.1.1.	Efeitos do uso da terra e da mudança no uso da terra sobre as emissões	39
2.1.1.1.	Desmatamento	39
2.1.1.2.	Produção agrícola	40
2.1.1.3.	Pecuária	41
2.1.1.4.	Remoção de carbono baseado na silvicultura	41
2.1.2.	Metodologia de simulação do uso do solo e das mudanças do uso do solo	41
2.1.2.1.	Área disponível para expansão das atividades produtivas	41
2.1.2.2.	Modelagem econômica do uso do solo: Modelo BLUM	44
2.1.2.3.	Alocação de área para as atividades agropecuárias	49
2.1.3.	Cenário de Referência para o uso do solo	54
2.1.3.1.	Desagregação em microrregiões geográficas	64
2.1.3.2.	Espacialização das mudanças do uso do solo e do desmatamento: Modelo SIMBRASIL	65
2.1.4.	Cálculo das Emissões associadas ao Uso do Solo, Mudanças do Uso do Solo e Desmatamento no Cenário de Referência	70
2.1.4.1.	Emissões da Pecuária	70
2.1.4.1.1.	Metodologia	72
2.1.4.1.2.	Resultados do Cenário de Referência	82
2.1.4.2.	Emissões agrícolas	83
2.1.4.2.1.	Avaliação das emissões de CO ₂ por mudanças nos estoques de C do solo	83
2.1.4.2.2.	Produção de gases de efeito estufa pelo uso de energia fóssil	94
2.1.4.2.3.	Síntese das emissões das atividades agrícolas	95
2.1.5.	Emissões advindas do desmatamento	97
2.2.	Remoção de carbono por reflorestamento	102
2.2.1.	Metodologia	102
2.2.1.1.	Detalhamento do modelo de biomassa potencial	102
2.2.1.2.	Potencial de remoção de carbono através do restauro das Reservas Legais	121
2.2.1.3.	Potencial de remoção de carbono através do restauro das Matas ciliares	121

2.2.1.4. Potencial de remoção de carbono através do plantio de florestas energéticas nos biomas do Cerrado e da Mata Atlântica	123
2.2.2. Cenário de Referência para o Restauo Florestal	123
2.2.3. Carvão vegetal não-renovável e florestas de produção para carvão vegetal renovável	124
2.3. Resultados de Emissões do Cenário de Referência	127
3. OPÇÕES DE MITIGAÇÃO E REMOÇÃO DE CARBONO	129
3.1. Opção de mitigação na agricultura: o plantio direto	129
3.1.1. Potencial de redução de emissões associado ao plantio direto	132
3.1.2. Barreiras limitando a expansão do plantio direto	135
3.1.3. Propostas para superar as barreiras	136
3.2. Remoção de carbono através do aumento das florestas de produção para carvão vegetal renovável	137
3.2.1. Potencial de remoção de carbono associado ao aumento da produção de carvão renovável	137
3.2.2. Barreiras limitando a expansão de florestas de produção para carvão vegetal renovável	143
3.2.3. Medidas de Superação das Barreiras e Impedimentos	146
3.3. Remoção de carbono por restauro florestal	150
3.3.1. O potencial de remoção de carbono resultante de um “Cenário da Legalidade” para o restauro florestal	150
3.3.2. Barreiras limitando o Restauo Florestal e pistas para superá-las	154
3.3.3. Políticas de apoio ao reflorestamento	156
3.4. Opções de mitigação na pecuária	162
3.4.1. Principais opções consideradas para mitigar as emissões da pecuária	163
3.4.2. Barreiras e propostas para superação	165
3.5. Redução das emissões do desmatamento	167
4. CENÁRIO DE BAIXO CARBONO PARA O USO DO SOLO NO BRASIL	170
4.1. Necessidades adicionais de terra para atividades ligadas à remoção de carbono e exportação de biocombustível	170
4.2. Em direção a um novo padrão de produtividade para a pecuária	171
4.3. Potencial de mitigação das emissões diretas da pecuária no Cenário de Baixo Carbono	175
4.4. Um novo cenário de uso do solo para o Cenário de Baixo Carbono	179
4.5. Redução do desmatamento no Cenário de Baixo Carbono	186

4.6.	Medidas adicionais para proteger a floresta contra o desmatamento -----	190
4.7.	Balanco das emissões do uso do solo e das mudancas do uso do solo no Cenário de Baixo Carbono -----	196
4.8.	Principais incertezas nas estimativas de emissões -----	201
4.9.	Benefícios relacionados à redução das emissões de aerossóis oriundos do desmatamento por fogos -----	204
4.9.1.	Metodologia : Modelagem numérica com o CCATT-BRAMS -----	205
4.9.1.1.	Cálculo das emissões de aerossóis -----	207
4.9.1.2.	Emissões de aerossóis nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono -	210
4.9.2.	Resultados -----	214
4.9.2.1.	Precipitação -----	214
4.9.2.2.	Temperatura -----	218
4.9.3.	Síntese da redução dos impactos no regime de chuva e temperatura no Cenário de Baixo Carbono -----	220
5.	ANÁLISE DOS CUSTOS DE TRANSIÇÃO DO CENÁRIO DE REFERÊNCIA PARA O CENÁRIO DE BAIXO CARBONO PROPOSTO -----	223
5.1.	Custos da Redução de Emissões do Desmatamento -----	229
5.1.1.	Aperfeiçoando a Produtividade Pecuária -----	230
5.1.2.	Proteção Florestal -----	232
5.2.	Restauração Florestal: Reservas Florestais Legais -----	239
5.3.	Carvão renovável -----	241
5.4.	Abatimento de emissões com plantio direto -----	245
6.	CONCLUSÃO -----	254
7.	ANEXO: A ANÁLISE DOS CENÁRIOS DE BAIXO CARBONO -----	257
7.1.	Cenário de otimização do rebanho -----	260
7.2.	Cenário de florestas de produção -----	263
7.3.	Cenário de etanol e florestas de produção -----	264
7.4.	Cenário de Legalidade (reflorestamento de Reserva Legal) -----	266
7.5.	Cenário agregado: Rebanho, Florestas de Produção, Etanol, Restauração Florestal -----	268
8.	REFERÊNCIAS -----	274

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Sumário das necessidades adicionais de terras nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono -----	29
Tabela 2: Comparação da distribuição das emissões entre os setores nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono, 2008-2030-----	31
Tabela 3: Comparação entre a área total de pastagens e área de vegetação remanescente conversíveis para lavouras/Florestas nas regiões do modelo BLUM (em mil hectares) -----	44
Tabela 4: Brasil - Área alocada e produção dos produtos cobertos pelo Modelo BLUM -----	47
Tabela 5: Fontes de dados -----	48
Tabela 6: Projeções macroeconômicas -----	49
Tabela 7: Matriz de competição por terra em regiões brasileiras -----	51
Tabela 8: Projeção de áreas ocupadas por florestas de produção (em milhares de hectares) -----	55
Tabela 9: Uso produtivo da terra (culturas, pasto e florestas) nas diferentes regiões e no Brasil (em milhares de hectares) -----	56
Tabela 10: Uso do solo (em milhares de hectares) nas seis regiões do modelo para o Cenário de Referência-----	57
Tabela 11: Rebanho de vacas leiteiras (em milhares de cabeças) - Cenário de Referência-----	58
Tabela 12: Uso do solo (em milhares de hectares) para o Brasil – Cenário de Referência -----	59
Tabela 13: Descrição da base desenvolvida para implementação do SIMBRASIL-----	66
Tabela 14: Categorias de animais consideradas nas análises de emissões pela pecuária-----	74
Tabela 15: Coeficientes zootécnicos considerados para cada sistema produtivo -----	79
Tabela 16: Emissões de gases de efeito estufa por animal e por kg de equivalente carcaça nos diferentes sistemas de produção -----	80
Tabela 17: Estimativas de área, rebanho, proporção do rebanho nos sistemas produtivos e emissões para o Cenário de Referência -----	82
Tabela 18: Áreas sob diferentes usos do solo e total no ano de 1990, por Unidade da Federação -----	84
Tabela 19: Estoque de C do solo sob vegetação nativa, ponderado para cada região do Modelo BLUM -----	90
Tabela 20: Fatores de mudança de estoque de C no solo para cada tipo de uso do solo -----	92
Tabela 21: Emissões de CO ₂ , CH ₄ e N ₂ O da agricultura acumuladas no período 2010-2030, expressas em CO ₂ eq, para o Cenário de Referência -----	95
Tabela 22: Uso do solo no Brasil entre 1990 e 2005 -----	98
Tabela 23: Risco de extinção das espécies florestais arbóreas no Brasil em 2000-----	99
Tabela 24: Pontuação das diferentes classes de fertilidade IBGE -----	108
Tabela 25: Entrada de camadas no banco de dados ambientais -----	112
Tabela 26: Projeção das emissões de CO ₂ para o Cenário de Referência (uso de carvão mineral e/ou carvão vegetal não-renovável / renovável) - 2010 a 2030 (potencial ajustado, valores em mil t CO ₂) -----	127

Tabela 27: Emissões de metano pelo uso de plantio convencional e direto em áreas de arroz inundado em diferentes localidades, e a redução nas emissões pelo uso de plantio direto em comparação ao convencional -----	130
Tabela 28: Custos e receitas no Cenário de Referência e no de Baixo Carbono pela adoção de plantio direto, cumulativos para o período 2010-2030 -----	132
Tabela 29: Gases de efeito estufa produzidos no Cenário de Baixo Carbono: adoção de plantio direto em 100% da área de agricultura de 2015 a 2030 -----	133
Tabela 30: Remoção de CO ₂ e em plantios florestais para carvão vegetal renovável no Cenário 1 -----	141
Tabela 31: Remoção de CO ₂ e em plantios florestais para carvão vegetal renovável no Cenário 2 -----	142
Tabela 32: Medidas de superação propostas -----	147
Tabela 33: Área necessária para reflorestamento de acordo com a Lei de Reservas Legais do Brasil, por estado -----	152
Tabela 34: Produtividade média de cultivos selecionados em vários países (ton por ha), 2008 -----	168
Tabela 35: Opções de mitigação e remoção para um Cenário de Baixo Carbono e necessidades associadas de terra adicional -----	171
Tabela 36: Comparação dos resultados de uso da terra nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono (milhões de ha) -----	180
Tabela 37: Panorama das Áreas Protegidas no bioma amazônico e participação do ARPA -----	191
Tabela 38: Recursos do INPE para monitoramento por satélite da Amazônia -----	192
Tabela 39: Benefícios e perdas da implantação de sistema de gestão de florestas públicas -----	194
Tabela 40: Resumo dos gastos previstos para serviços em gestão pública de florestas em 2009 -----	195
Tabela 41: Comparação da distribuição de emissões cumulativas entre setores nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono, 2010-30 -----	199
Tabela 42: Valores de fator de emissão (g/kg) para diferentes biomas para o CO ₂ e aerossóis (material particulado com diâmetro inferior a 2,5 micrômetros – PM _{2,5}) conforme Andreae e Merlet, 2001 -----	208
Tabela 43: Emissão total anual de aerossóis (toneladas por hectare e por ano) em todo o território brasileiro considerando os Cenários de Referência (REF) e de Baixo Carbono -----	211
Tabela 44: Potencial de mitigação e custo marginal de abatimento das várias alternativas, com base em três taxas de desconto -----	226
Tabela 45: Comparação entre os Custos Marginais de Abatimento -----	228
Tabela 46: Volume de incentivos necessários (não descontados) para o período 2010-2030 -----	229
Tabela 47: Investimento e gastos para sistemas pecuários prototípicos (2009-30) -----	231
Tabela 48: Desempenho econômico e financeiro dos sistemas pecuários prototípicos (2009-30) ---	231
Tabela 49: Investimentos e gastos nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono -----	232
Tabela 50: Desempenho econômico e financeiro comparativo do setor de pecuária -----	232
Tabela 51: Projeção dos custos da proteção das florestas nas áreas onde o desmatamento é ilegal (em milhões de US\$) -----	234

Tabela 52: Investimentos e Gastos do Setor Pecuário para Liberar Terra e Absorver Terras Adicionais Necessárias nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono (2010-30) -----	238
Tabela 53: Custo Marginal de Abatimento (carvão vegetal renovável)-----	242
Tabela 54: Quadro resumo dos parâmetros econômicos para o período 2010-2030 -----	243
Tabela 55: Custos de investimento do uso adicional de carvão vegetal renovável em comparação com a soma das medidas de mitigação no setor industrial brasileiro, considerando o potencial ajustado-----	244
Tabela 56: Hipóteses da análise técnico-econômica -----	245
Tabela 57: Discriminação de itens de custo considerados no estudo-----	252
Tabela 58: Potencial de redução de emissões em toneladas de CO ₂ eq, custo de abatimento médio no período e preço a ser pago pela tonelada de C para compensar a implementação do plantio direto-----	253
Tabela 59: Relação dos Cenários de Baixo Carbono elaborados por este estudo -----	258
Tabela 60: Área necessária para reflorestamento de Reserva Legal, por estado do Brasil (hectares)-----	260
Tabela 61: Oferta e demanda de equilíbrio para os produtos selecionados, cenário de otimização do rebanho -----	261
Tabela 62: Uso do solo no Brasil, cenário de otimização do rebanho (em mil hectares)-----	262
Tabela 63: Alocação regional das áreas de pastagens, Cenário de Referência e de otimização do rebanho (em mil hectares) -----	262
Tabela 64: Distribuição regional do rebanho bovino, Cenário de Referência e cenário de otimização do rebanho (em mil cabeças) -----	263
Tabela 65: Distribuição regional da floresta de produção no Cenário de Referência e no cenário de floresta de produção (em mil hectares)-----	264
Tabela 59: Relação dos Cenários de Baixo Carbono elaborados por este estudo -----	264
Tabela 66: Uso do solo no Brasil, cenário de etanol (em mil hectares)-----	265
Tabela 67: Distribuição regional da cana-de-açúcar no Cenário de Referência, no cenário -----	265
Tabela 68: Necessidade de reflorestamento para cumprir Reserva Legal nas regiões do modelo, em mil hectares -----	266
Tabela 69: Área de pastagens nas regiões do modelo em 2009 e 2030, em mil hectares, no Cenário de Reflorestamento de Reserva Legal -----	267
Tabela 70: Apresentação dos resultados quantitativos por estado da Mata Atlântica e do Cerrado --	268
Tabela 71: Comparação de resultados de uso do solo de todos os cenários para o Brasil -----	269
Tabela 72: Comparação de resultados de área de pastagens de todos os cenários para o Brasil e regiões-----	269
Tabela 73: Resultados do rebanho bovino nos Cenários de Referência, otimização de rebanho e agregado (em mil cabeças) -----	270
Tabela 74: Resultados de uso do solo e rebanho para produtos selecionados no cenário agregado ---	271

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diferenças de mitigação de GEE no Cenário de Baixo Carbono, 2008–30 -----	32
Figura 2: Cálculo da área disponível para expansão das atividades produtivas -----	42
Figura 3: Uso do solo por classes, excluindo os biomas Pampa, Caatinga e Pantanal -----	43
Figura 4: Diagrama metodológico do modelo de uso do solo. -----	54
Figura 5: Evolução da demanda por terra no Brasil, por cultivo no Cenário de Referência - 2006-30 (Milhões de ha) -----	60
Figura 6: Arquitetura do estudo LULUCF, destacando os componentes que incluem o fator desmatamento, a cargo da UFMG -----	65
Figura 7: Exemplo de base de dados preparada para as simulações de mudança de uso e cobertura do solo -----	66
Figura 8: Primeira parte do modelo espacialmente explícito de mudanças no uso e cobertura do solo - alocação de terras -----	68
Figura 9: Modelo espacialmente explícito de mudanças no uso e cobertura do solo - simulação da mudança no uso do solo -----	69
Figura 10: Fluxos de informação no modelo analítico deste estudo -----	73
Figura 11: Variação da área de pastagens ocupada por tipo de sistema produtivo no Cenário de Referência (milhões de hectares) -----	82
Figura 12: Área do país ocupada com lavouras, pastagens, florestas plantadas e área complementar, na forma de vegetação nativa e outros usos, durante o período de 1990 a 2030 -----	85
Figura 13: Esquema fictício de mudança de uso da terra por três culturas (A, B e C) -----	87
Figura 14: Emissões de CO ₂ , N ₂ O e CH ₄ da agricultura ao longo do período 2010-2030, expressas em equivalentes de CO ₂ no Cenário de Referência -----	96
Figura 15: Dinâmica do desmatamento nos três principais biomas brasileiros sob o Cenário de Referência (km ² /ano) -----	99
Figura 16: Emissões por mudança no uso do solo sob o Cenário de Referência -----	102
Figura 17: Diagrama de construção do modelo de potencial de fixação de carbono para os biomas do Cerrado e da Mata Atlântica -----	103
Figura 18: Peso atribuído aos valores de ICMW no modelo. Modificado de Iverson et al. (1994) -----	106
Figura 19: Peso atribuído aos valores de pluviosidade no modelo, segundo Iverson et al. (1994) ----	106
Figura 20: Peso atribuído às classes de altitude no modelo, modificado de Iverson et al. (1994) ----	107
Figura 21: Peso atribuído aos graus de inclinação do terreno, modificado de Iverson et al. (1994) ---	108
Figura 22: Gráfico de box-plot onde pode ser observada a distribuição dos valores de altitude, temperatura, pluviosidade e meses de déficit hídrico para as bases de dados da EMBRAPA e do WorldClim -----	111
Figura 23: Função logística da remoção de biomassa que usa como parâmetros o potencial local de biomassa e a idade da vegetação. O potencial local nesse exemplo é igual a 100 t/hectares -----	122

Figura 24: Cenário de Referência para o carvão com baixo nível de restrições legais: participação de agentes termo-redutores no mercado siderúrgico brasileiro -----	125
Figura 25: Cenário de Referência do carvão com alto nível de restrições legais: participação de agentes termo-redutores no mercado siderúrgico brasileiro -----	126
Figura 26: Projeção das emissões de CO2 para o Cenário de Referência do carvão.-----	127
Figura 27: Resultados do Cenário de Referência: Emissões do uso da terra e das mudanças no uso da terra, 2009–30-----	128
Figura 28: Redução percentual das perdas de solo e água proporcionadas pelo plantio direto (PD), em relação ao plantio convencional (PC). Adaptado de De Maria (1999) -----	131
Figura 29: Estoque de CO2e em plantios florestais para carvão vegetal renovável no Cenário 1 -----	141
Figura 30: Estoque de CO2e em plantios florestais para carvão vegetal renovável no Cenário 2 -----	142
Figura 31: Comparativo do Estoque de CO2 nos Cenários 1, 2 e de Referência-----	143
Figura 32: Potencial de remoção de carbono das atividades de restauração florestal e florestas de produção-----	152
Figura 33: Medidas mitigadoras para construção do Cenário de Baixo Carbono. -----	172
Figura 34: Variação da área de pastagens ocupada por tipo de sistema produtivo (milhares de hectares) -----	173
Figura 35: Variação do número de cabeças de gado em sistemas produtivos, 2009–30 -----	174
Figura 36: Projeção da produtividade do rebanho bovino brasileiro entre 2009 e 2030 para os Cenários de Referência e de Baixo Carbono -----	175
Figura 37: Projeção da área de pastagens no Brasil nos anos 2009 a 2030 (Cenário de Baixo Carbono) -----	175
Figura 38: Comparação das emissões de metano geradas pela criação de gado de corte (MtCO2e por ano), 2008–30-----	176
Figura 39: Comparação das emissões de metano por unidade de carne (kg CO2e por kg), 2008–30 -	177
Figura 40: Evolução da demanda por terra por cultivo -----	181
Figura 41: Evolução do desmatamento no Cenário de Baixo Carbono (curva) (km2 por ano) -----	188
Figura 42: Evolução do desmatamento no Cenário de Referência (RS) e de Baixo Carbono (LCS) (milhares de hectares por ano)-----	189
Figura 43: Identificação de padrões de degradação florestal na Amazônia no âmbito do programa DEGRAD. Fonte: INPE, 2009 -----	192
Figura 44: Resultados do Cenário de Referência: emissões do uso da terra e das mudanças no uso da terra, 2009–30 -----	197
Figura 45: Emissões geradas pelo uso da terra e pela mudança no uso da terra de acordo com a nova dinâmica de uso da terra, no Cenário de Baixo Carbono -----	198
Figura 46: Comparação da distribuição de emissões brutas por setores nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono, 2008–30 -----	200

Figura 47: Processos de transporte simulados pelo CCATT-BRAMS, incluindo levantamento de pluma (plume rise), transporte convectivo por cumulus profundos e rasos (deep and shallow convective transport by cumulus), difusão na camada limite (diffusion in the PBL), deposição seca (dry deposition) e deposição úmida (wet deposition) -----	206
Figura 48: Estimativa da emissão total anual de aerossóis sobre o Brasil para os Cenários de Referência e de Baixo Carbono (valores na Tabela 44) -----	211
Figura 49: Precipitação média mensal nas 6 regiões analisadas nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono nos anos de 2007 a 2008 em comparação com os dados obtidos da Agência Nacional de Águas (ANA) que correspondem à climatologia mensal de precipitação no período de 1982 a 2005. As barras de erro representam o desvio padrão para cada mês -----	215
Figura 50: Precipitação média mensal nas 6 regiões analisadas nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono nos anos de 2007 a 2030 (gráfico de barras eixo esquerdo). Também é mostrada a diferença entre o Cenário de Referência e de Baixo Carbono (gráfico de linha eixo direito) -----	216
Figura 51: Diferença na precipitação (mm) entre o Cenário de Referência e o de Baixo Carbono considerando os anos de 2007 a 2030 nos trimestres de fevereiro, março e abril (A), abril, maio e junho (B), agosto, setembro e outubro (C) e novembro, dezembro e janeiro (D) -----	217
Figura 52: Temperatura média mensal nas 6 regiões analisadas nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono nos anos de 2007 a 2008 em comparação com os dados obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) que correspondem à climatologia mensal de temperatura no período de 1977 a 2000. As barras de erro representam o desvio padrão para cada mês -----	218
Figura 53: Diferença na temperatura (graus Celsius) entre o Cenário de Referência e o de Baixo Carbono considerando os anos de 2007 a 2030 para os trimestres de fevereiro, março e abril (A), abril, maio e junho (B), agosto, setembro e outubro (C) e novembro, dezembro e janeiro (D) -----	220
Figura 54: Diferença de chuva acumulada, tomada a média entre 2007 e 2030 entre o Cenário de Referência e de Baixo Carbono. A escala de cores se refere a valores em milímetros de chuva por ano -----	221
Figura 55: Diferença de temperatura do ar tomada a média entre 2007 e 2030 entre o Cenário de Referência e de Baixo Carbono. A escala de cores se refere a valores em graus Celsius. -----	222
Figura 56: Custo Marginal de Abatimento (taxa de desconto social de 8 por cento) e Preço de Equilíbrio do Carbono (considerando uma TIR de 12%) para Medidas para Evitar o Desmatamento -----	237
Figura 57: Variação dos custos de restauro florestal em relação ao grau de intervenção necessária na área -----	240
Figura 58: CMA e preço de equilíbrio de carbono para remoção de CO ₂ através do restauro de florestal legal -----	241
Figura 59: Distribuição percentual dos investimentos por medidas agrupadas -----	244
Figura 60: Custo da terra no estado de São Paulo, registrado no período de 1995 a 2008 -----	247
Figura 61: Variação nos preços das culturas utilizadas no presente estudo -----	249
Figura 62: Resultados do Cenário de Referência e Cenário agregado de Baixo Carbono -----	273

LISTA DE MAPAS

Mapa 1: Mapa das grandes regiões do modelo de uso do solo-----	45
Mapa 2: Dinâmica das áreas da cultura de cana-de-açúcar (esquerda) e algodão (direita) no Cenário de Referência (2010-2030).-----	61
Mapa 3: Dinâmica das áreas de cultivo de arroz (esquerda) e feijão (direita) para o Cenário de Referência (2010-2030) -----	62
Mapa 4: Dinâmica das áreas de cultivo de milho (esquerda) e soja (direita) para o Cenário de Referência (2010-2030). -----	63
Mapa 5: Dinâmica das áreas de floresta de produção (esquerda) e pastagem (direita) para o Cenário de Referência (2010-2030).-----	64
Mapa 6: Simplificação do mapa de solos do Brasil com as seis categorias de solos (A); do mapa de vegetação, com as seis catagorias consideradas (B); e a visualização dos estoques de C do solo sob vegetação nativa no Brasil (C) -----	89
Mapa 7: Emissão total de GEE em equivalentes de CO2 (milhões de toneladas) para cada Unidade da Federação, decorrente do uso do solo com lavouras-----	97
Mapa 8: Desmatamento sob o Cenário de Referência (2010-2030) -----	100
Mapa 9: Mosaico de estoque de carbono -----	101
Mapa 10: Limites do Cerrado e da Mata Atlântica, extraídos do Mapa de Biomas Brasileiros, produzido em 2004 pelo IBGE em cooperação com o Ministério do Meio Ambiente. -----	113
Mapa 11: Altimetria baseada no modelo digital de terreno SRTM. -----	114
Mapa 12: Declividade em porcentagens baseada no modelo digital de terreno -----	115
Mapa 13: Precipitação anual média em milímetros -----	116
Mapa 14: Duração da estação de crescimento indicada pela somatória de meses com precipitação superior a 50 mm obtidos no modelo climático do WorldClim-----	117
Mapa 15: Temperatura média do mês mais quente do ano em graus Celsius -----	118
Mapa 16: Mapeamento de fertilidade dos solos do Brasil -----	119
Mapa 17: Mapa de cobertura vegetal do Brasil no ano 2000 -----	120
Mapa 18: Mapa de ecossistemas brasileiros -----	120
Mapa 19: Mapa de potencial de remoção de carbono através da restauração florestal de Reserva Legal nos biomas do Cerrado e da Mata Atlântica, em tCO2/ha -----	121
Mapa 20: Mapa de potencial de remoção de carbono através da restauração florestal de matas ciliares nos biomas do Cerrado e da Mata Atlântica, em tCO2/ha -----	122
Mapa 21: Produtividade silvicultural (tCO2/ha/ano) para os biomas do Cerrado e da Mata Atlântica-----	123
Mapa 22: Mitigação por Cultivo, 2010 a 2030 -----	134
Mapa 23: Emissão Total de Agricultura, 2010 a 2030 -----	135
Mapa 24: Potencial de remoção de CO2 por restauração florestal em 2030 e o potencial total de remoção-----	153

Mapa 25: Número de Cabeças no Rebanho-----	178
Mapa 26: Total cumulativo de emissões da Bovinocultura, 2010 a 2030 -----	179
Mapa 27: Dinâmica da cultura de cana-de-açúcar (esquerda) e do algodão (direita) sob o Cenário de Baixo Carbono (2010 – 2030) -----	182
Mapa 28: Dinâmica da cultura de arroz (esquerda) e do feijão (direita) sob o Cenário de Baixo Carbono (2010 – 2030) -----	183
Mapa 29: Dinâmica da cultura do milho (esquerda) e da soja (direita) sob o Cenário de Baixo Carbono (2010 – 2030) -----	184
Mapa 30: Dinâmica das florestas de produção (esquerda) e das pastagens (direita) sob o Cenário de Baixo Carbono (2010 – 2030) -----	184
Mapa 31: Regeneração florestal no Cenário de Baixo Carbono -----	185
Mapa 32: Área ocupada pela agropecuária por região -----	186
Mapa 33: Comparação do desmatamento cumulativo, 2007–30 -----	187
Mapa 34: Total de área desmatada, 2010 a 2030-----	187
Mapa 35: Total cumulativo de emissões do desmatamento, 2010 a 2030 -----	189
Mapa 36: Total cumulativo de emissões do Uso da Terra (Agricultura, Bovinocultura, Desmatamento, Reflorestamento), 2010 a 2030 -----	198
Mapa 37: Mapa de uso da terra para o ano de 2007 no Cenário de Referência -----	208
Mapa 38: Mapa esquemático do Brasil mostrando as diferentes regiões delimitadas sobre o país para a análise dos resultados -----	210
Mapa 39: As figuras (A), (B), (C) e (D) ilustram as localizações de desmatamento no período de 2007 a 2030-----	213

Siglas e Abreviações

ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural, e Biocombustíveis
ARPA	Programa de Áreas Protegidas na Região Amazônica (Amazon Region Protected Areas Program)
BDMG	Banco de Desenvolvimento de Minas Gerais
BEN	Balço Energético Nacional
BLUM	Modelo de Uso da Terra para o Brasil (Brazil Land Use Model)
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CBERS	China-Brazil Earth Resources Satellites
CCC	Conta de Consumo de Combustíveis
CDE	Conta de Desenvolvimento Energético
CEIF	Quadro de Investimento em Energia Limpa (Clean Energy Investment Framework)
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CER	Redução Certificada de Emissões (Certified Emissions Reduction)
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CH ₄	Metano
CIDE	Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico
CMN	Conselho Monetário Nacional
CNA	Confederação Nacional da Agricultura e Pecuária
CNG	Gás Natural Comprimido (Compressed Natural Gas)
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CONPET	Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados de Petróleo e Gás Natural
CO ₂	Dióxido de carbono
COPPE	Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CSR	Centro de Sensoriamento Remoto
CTEnerg	Fundo Setorial de Ciência e Tecnologia para Energia
CT-Petro	Fundo Setorial de Ciência e Tecnologia para Petróleo e Gás
DEGRAD	Mapeamento da Degradação Florestal na Amazônia Brasileira
DETER	Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real
EGO	Environment for Geoprocessing Objects
EIA	Administração de Informação de Energia (Energy Information Administration)
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agrícola
EPE	Empresa de Planejamento Energético
FAPRI	Instituto de Pesquisa de Políticas Agrícolas e Alimentares (Food and Agricultural Policy Research Institute)

FDI	Investimento Estrangeiro Direto (Foreign Direct Investment)
FGEE	Fundo de Garantia de Empreendimentos de Energia Elétrica
FGTS	Fundo de Garantia do Tempo de Serviço
FINAME-Agrícola	Agência de Financiamentos para Aquisição de Máquinas e Equipamentos
FINEM	Financiadora de Equipamentos e Máquinas
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
FNP	FINEP Consultoria & Comércio
FUNAI	Fundação Nacional do Índio
GEE	Gases de Efeito Estufa
GEF	Fundo Ambiental Global (Global Environment Facility)
GTL	Gás-para-Líquido (Gas-To-Liquid)
GTZ	Agência de Cooperação Alemã para o Desenvolvimento
HFC	Hidrofluorcarboneto
IAEA	Agência Internacional de Energia Atômica (International Atomic Energy Agency)
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBP	Índice de Biomassa Potencial
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
ICONE	Instituto de Estudos do Comércio e Negociações Internacionais
IEA	Agência Internacional de Energia (International Energy Agency)
IGP-DI	Índice Geral de Preços-Disponibilidade Interna
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INT	Instituto Nacional de Tecnologia
IPAM	Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia
IPCC	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change)
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
KfW	Banco de Desenvolvimento Alemão (Kreditanstalt für Wiederaufbau)
LNG	Gás Natural Liquefeito (Liquefied Natural Gas)
LULUCF	Uso da Terra, Mudanças no Uso da Terra e Florestas (Land Use, Land-Use Change, and Forestry)
MAC	Custo de Abatimento Marginal (Marginal Abatement Cost)
MACC	Curva de Custo de Abatimento Marginal (Marginal Abatement Cost Curve)
MCT	Ministério de Ciência e Tecnologia
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MELP	Modelo de Expansão de Longo Prazo
MEPS	Padrão de Desempenho Mínimo de Energia (Minimum Energy Performance Standard)
MIPE	Modelo Integrado de Planejamento Energético
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
M-Ref	Modelo de Estudo do Refino
MSR	Modelo de Projeção de Demanda Residencial de Energia
MT	Ministério dos Transportes

N	Nitrogênio
NAPCC	Plano de Ação para Mudanças Climáticas (National Action Plan on Climate Change)
NIPE	Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético
NPV	Valor Presente Líquido
NRC	Conselho Nacional de Pesquisa (National Research Council)
N2O	Óxido Nitroso
OECD	Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PAC	Plano de Aceleração do Crescimento
PAS	Plano Amazônia Sustentável
PFC	Perfluorocarbono
PIB	Produto Interno Bruto
PLANSAB	Plano Nacional de Saneamento Básico
PME	Pesquisa Mensal de Emprego
PNE	Plano Nacional de Energia
PNLT	Plano Nacional de Logística e Transporte
PNMC	Plano Nacional sobre Mudança do Clima
PPA	Área de Preservação Permanente
PPCDAM	Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal
PPP	Parceria Público-Privada
PROALCOOL	Programa Nacional de Álcool
PROBIO	Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira
PROCEL	Programa de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica
PRODES	Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia
PRODUSA	Programa de Estímulo à Produção Agropecuária Sustentável
PROESCO	Programa de Apoio a Projetos de Eficiência Energética
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas
PROLAPEC	Programa de Integração Lavoura-Pecuária
PRONAF	Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar
PROPASTO	Programa Nacional de Recuperação de Pastagens Degradadas
PROPFLORA	Programa de Plantio Comercial e Recuperação de Florestas
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
REDD	Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação
RGR	Reserva Global de Reversão
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SAE	Secretaria de Assuntos Estratégicos
SFB	Serviço Florestal Brasileiro
SF6	Hexafluoreto de enxofre
UC	Unidade de Conservação
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UNFCCC	Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas
UNICAMP	Universidade de Campinas
TIR	Taxa Interna de Retorno
WTI	West Text Intermediate

Unidades de Medida

20

Ce	Carbono Equivalente
CO ₂ e	Dióxido de Carbono Equivalente
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
gCO ₂ e	Gramas de Dióxido de Carbono Equivalente
Gt	Bilhões de toneladas
Gt CO ₂ e	Bilhões de toneladas de Dióxido de Carbono Equivalente
GW	Gigawatt
GWh	Gigawatt Hora
ha	Hectare
kg	Quilograma
km	Quilômetro
km ²	Quilômetro quadrado
kW	Quilowatt
m	Metro
m ³	Metro cúbico
Mt	Milhões de toneladas
MtCO ₂ e	Milhões de toneladas de Dióxido de Carbono Equivalente
MW	Megawatt
MWh	Megawatt Hora
ppm	Partículas por Milhão
tCO ₂ e	Toneladas de Dióxido de Carbono Equivalente
TWh	Terawatt Hora

Taxa de Câmbio

1 Dólar Americano (US\$) = 2,20 Reais (R\$)

Reconhecimento

Este relatório foi elaborado por uma equipe coordenada por Christophe de Gouvello (Banco Mundial), Britaldo S. Soares Filho (Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG), André Nassar (Instituto de Estudos do Comércio e Negociações Internacionais, ICONE), Luis G. Barioni e Bruno J. R. Alves (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA), Osvaldo Martins e Magno Castelo Branco (Iniciativa Verde), Manoel Regis Lima Verde Leal (Centro de Energias Alternativas e Meio Ambiente, CENEA), Fábio Marques (PLANTAR), Júlio Hato e Sérgio Pacca (Universidade de São Paulo, USP), e Saulo Ribeiro Freitas (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE).

21

A equipe técnica do estudo foi composta por Letícia Hissa (UFMG), Leila Harfuch, Marcelo Melo Ramalho Moreira, Luciane Chiodi Bachion e Laura Barcellos Antoniazzi (ICONE), Geraldo Martha Junior, Roberto D. Sainz, e Magda A. de Lima (EMBRAPA), Renato Toledo (Iniciativa Verde), Rodrigo Ferreira, Luiz Goulart, e Thiago Mendes (PLANTAR), Karla Maria Longo e Ricardo Almeida de Siqueira (INPE) e Mark Lundell, Adriana Moreira, Barbara Farinelli, Jennifer Meihuy Chang, Govinda Timilsina, Garo Batmanian, Fowzia Hassan, Benoit Bosquet, Alexandre Kossoy, Flávio Chaves, Mauro Lopes de Azevedo, Fernanda Pacheco, Megan Hansen, Augusto Jucá, e Rogerio Pinto (Banco Mundial).

A equipe do estudo se beneficiou durante o processo de consultas e reuniões com os Ministérios de Relações Exteriores, Meio Ambiente e Ciência de Tecnologia. Seminários técnicos também foram organizados com os Ministérios da Fazenda, Planejamento, Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Transportes, Minas e Energia e Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior.

A equipe do estudo agradece os recursos recebidos pela Rede de Desenvolvimento Sustentável (Sustainable Development Network) e pelo Programa de Apoio à Gestão do Setor Energético do Banco Mundial (ESMAP, sigla em inglês).

O time agradece especialmente a Mark Lundell e Garo Batmanian pela valiosa contribuição durante todo o desenvolvimento do estudo.

Agradecimentos especiais para Adriana Moreira por coordenar a compilação inicial do relatório e para Barbara Farinelli por verificar a tradução, coordenar a edição e processos de impressão para disponibilizar o relatório para o público.

A equipe também agradece a Judy Wolf e Helena Jansen pela tradução e revisão do relatório.

Sumário Executivo

Este relatório apresenta os resultados parciais relacionados ao uso da terra, mudanças de uso da terra e florestas de um estudo multisetorial maior de baixo carbono para o Brasil¹.

22

O compromisso do Brasil para o combate à mudança climática já havia sido iniciado quando o país sediou em junho de 1992 a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, também conhecida como Cúpula da Terra do Rio de Janeiro. A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), que resultou daquela conferência, levou à criação do Protocolo de Quioto. Hoje, permanece no Brasil o forte compromisso voluntário em reduzir as suas emissões de carbono. No dia 1º de dezembro de 2008, o Presidente Luiz Inácio Lula da Silva lançou o Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), baseado no trabalho desenvolvido pela Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima. O PNMC determina uma redução de 70 por cento no desmatamento até 2017, meta especialmente digna de nota, considerando-se que o Brasil detém o segundo maior bloco do mundo de matas nativas remanescentes. No dia 29 de dezembro de 2009, o Parlamento Brasileiro aprovou a Lei 12,187, que institui a Política Nacional de Mudanças Climáticas do Brasil, assim como um conjunto de metas voluntárias de redução dos gases de efeito estufa, entre 36,1% e 38,9% das emissões projetadas até 2020.

Sendo o maior país tropical do mundo, o Brasil mostra-se singular quanto ao seu perfil de emissões de gases do efeito estufa (GEE). **Em décadas passadas, a disponibilidade de grandes volumes de terras para cultivo e pastagem ajudou a transformar a agricultura e a pecuária em setores cruciais para a sustentação do crescimento econômico do país.** Durante os últimos dez anos, apenas, esses dois setores responderam por uma média de 25 por cento do PIB nacional. A expansão constante da área necessária para agricultura e pastagem exigiu ainda a conversão de mais terras nativas, **fazendo da mudança do uso da terra a principal fonte de emissões de GEE atualmente existente no país. Ao mesmo tempo, o Brasil utilizou os recursos naturais, tão abundantes em seu vasto território, na exploração e no desenvolvimento de energias renováveis de baixo carbono.**

Contudo, o Brasil costumava ser um dos maiores emissores de GEE através do desmatamento e, provavelmente, continuaria sendo, se não fosse pela recente aprovação do governo de uma série de medidas para proteger a floresta. Apesar de haver sido drasticamente reduzido durante os últimos anos, o desmatamento pode potencialmente continuar a ser uma grande fonte de emissões no futuro.

Ao mesmo tempo, é provável que o Brasil venha a sofrer de forma significativa dos efeitos adversos da mudança climática. De acordo com indicações baseadas em modelos avançados, sugere-se que uma porção significativa da parte oriental da Amazônia Brasileira poderá vir a transformar-se em ecossistema semelhante à savana antes do final deste século. O fenômeno conhecido como Retração da Amazônia (*Amazon Dieback*), combinado aos efeitos de mais curto prazo causados pelo desmatamento através de queimadas,

1 Estudo de Baixo Carbono para o Brasil, Banco Mundial, Junho 2010.

poderia reduzir a incidência de chuvas nas regiões Centro-Oeste e Nordeste, o que resultaria em menor produtividade agrícola e menor disponibilidade de água para a produção de hidroeletricidade.² A curto prazo, o desmatamento por queimada emite também aerossóis que afetam o regime de chuvas e de temperatura. Assim sendo, são necessárias soluções urgentes para reduzir a vulnerabilidade do Brasil à mudança climática e permitir a execução de ações de adaptação e mitigação no país.

Da mesma forma que muitos outros países em desenvolvimento, o Brasil enfrenta um duplo desafio, tendo que estimular o desenvolvimento econômico e social e reduzir as emissões de GEE. O Presidente Lula expressou esta preocupação na apresentação que fez do PNMC, declarando que quaisquer ações que visassem evitar futuras emissões de GEE não deveriam afetar adversamente os direitos dos pobres ao desenvolvimento, eles que nada fizeram para gerar o problema. Os esforços para mitigar as emissões de GEE não devem crescer-se aos custos do desenvolvimento, mas existem fortes motivos para migrar para um tipo de economia de baixa intensidade de carbono. As alternativas de baixo carbono ofereceriam importantes benefícios colaterais relativos ao desenvolvimento, que variariam de reduções nos congestionamentos e na poluição do ar, na área de transporte urbano, a um melhor manejo dos resíduos, à criação de empregos e economia de custos para a indústria, além da conservação da biodiversidade. Os países que adotam um tipo de desenvolvimento com baixo carbono têm mais probabilidade de usufruir dos benefícios oferecidos por vantagens estratégicas e competitivas, como a transferência de recursos financeiros através do mercado de carbono, novos instrumentos para financiamento internacional e acesso a mercados globais emergentes para produtos de baixo carbono. No futuro isso pode criar uma vantagem competitiva para a produção de bens e serviços, devido aos menores índices de emissões associadas ao ciclo de vida dos produtos.

Panorama do Estudo

O propósito geral do estudo multisetorial, do qual este relatório apresenta a parte relacionada ao uso do solo e mudanças do uso do solo, foi dar suporte aos esforços empreendidos pelo Brasil para identificar oportunidades para reduzir as suas emissões, de formas que promovam o desenvolvimento econômico. O objetivo primordial foi oferecer ao governo brasileiro os insumos técnicos necessários para a avaliação do potencial e das condições para o desenvolvimento de baixo uso de carbono nos principais setores responsáveis pelas emissões.

Com esse propósito, o estudo do Banco Mundial adotou uma abordagem programática que estivesse alinhada aos objetivos de longo prazo do governo do Brasil, das seguintes maneiras: (i) prevendo a evolução futura das emissões de GEE no Brasil, para estabelecer um Cenário de Referência; (ii) identificando e quantificando opções que empreguem quantidade menor de carbono, de forma a mitigar as emissões, bem como potenciais opções para a remoção de carbono; (iii) avaliando os custos dessas opções com baixo uso de carbono, identificando barreiras à sua adoção e explorando medidas

2 “Assessment of the Risk of Amazon Dieback,” Banco Mundial, 2010.

para superá-las e (iv) construindo um cenário que envolva baixo nível de emissões de carbono que atenda às mesmas expectativas de desenvolvimento. A equipe analisou ainda os efeitos macroeconômicos da migração do Cenário de Referência para o que implica em baixo uso de carbono e o financiamento necessário.

Com o intuito de aproveitar os melhores conhecimentos já disponíveis e evitar a duplicação de esforços, a equipe do estudo engajou-se em um amplo processo de consultas, reunindo-se com mais de setenta reconhecidos especialistas brasileiros, técnicos e representantes de governos, cobrindo os setores que mais geram emissões e pesquisando a abundante literatura disponível. Esse trabalho de preparação funcionou para informar a escolha de quatro áreas cruciais que demonstram grande potencial para opções de baixo carbono: (i) uso da terra, mudança no uso da terra e florestas (LULUCF), incluindo-se aqui o desmatamento – sendo esta parte do estudo o objeto deste relatório; (ii) sistemas de transporte; (iii) produção e uso de energia, em especial de eletricidade e petróleo e gás; e (iv) resíduos urbanos, tanto sólidos quanto líquidos.³ Os resultados do estudo relacionados às áreas de transporte, energia e resíduos estão detalhados em relatórios separados.

Para determinar as emissões que o Brasil teria gerado nestes quatro setores-chave durante o período do estudo, a equipe do estudo definiu um Cenário de Referência “que é posteriormente comparado ao ‘Cenário projetado de Baixo Carbono’”. Nota-se que o Cenário de Referência é baseado em uma metodologia diferente da utilizada pelo governo brasileiro em seu inventário nacional de GEE. Devido ao fato de que o estudo focaliza nestas quatro áreas, o Cenário de Referência construído por este estudo não abrange cem por cento de todas as fontes de emissões do país e, portanto, não deve ser considerado como uma simulação de futuros inventários nacionais de emissões.

Os resultados do Cenário de Referência para estes principais setores demonstram que o desmatamento continua sendo o principal impulsionador das futuras emissões de GEE no Brasil, até 2030. Os resultados da modelagem indicam que após um ligeiro decréscimo, de 2009 a 2011, a expectativa é que as emissões oriundas do desmatamento sejam estabilizadas a uma taxa anual de aproximadamente 400–500 MtCO₂.

Apesar do significativo declínio verificado nos últimos quatro anos, o desmatamento continua a ser a maior fonte das emissões de carbono, representando aproximadamente dois quintos das emissões nacionais brutas (2008). Ao longo dos últimos 15 anos, o desmatamento contribuiu para reduzir o estoque de carbono brasileiro em aproximadamente 6 bilhões de toneladas métricas,

³ Determinadas fontes de óxido nitroso (N₂O), hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs), hexafluoreto de enxofre (SF₆) e outros gases GEE não cobertos pelo Protocolo de Quioto não estão incluídos neste estudo. Sem um inventário completo recente, não é possível determinar com precisão a participação de outras fontes no balanço nacional de GEE. Entretanto, com base na primeira Comunicação Nacional do Brasil (1994), a expectativa é que não excedam 5% do total de emissões de GEE de Quioto. Nem todas as atividades agrícolas foram consideradas ao se estimar as emissões provenientes do setor; as culturas consideradas para o cálculo das emissões provenientes da agricultura representam cerca de 80% do total da área cultivada.

o que equivale a dois terços das emissões globais anuais.⁴ Sem os recentes esforços da parte do governo do Brasil para proteger as florestas, o padrão atual de emissões oriundas do desmatamento seria significativamente mais alto.⁵ Os fatores que impulsionam o desmatamento ocorrem em múltiplos níveis. Nas regiões da Amazônia e do Cerrado, por exemplo, a dinâmica especial da expansão da agricultura e da pecuária, novas rodovias e a imigração determinam o padrão de desmatamento. A uma escala nacional ou internacional, são as mais amplas forças de mercado que afetam os setores de carne e de agricultura que estimulam o desmatamento.

A produção agrícola e a pecuária geram também emissões diretas, juntas respondendo por um quarto das emissões nacionais brutas. As emissões oriundas da agricultura resultam principalmente do emprego de fertilizantes e da mineralização do nitrogênio (N) no solo, do cultivo de arroz irrigado em várzeas, da queima da cana-de-açúcar e do emprego de maquinário agrícola movido a combustíveis fósseis. As emissões geradas pela pecuária resultam principalmente do processo digestivo do gado de corte, que libera metano (CH₄) na atmosfera.

Resultados de Modelos e Cenários de Referência

Com o objetivo de estimar a demanda futura por terra e as emissões geradas por LULUCF, o estudo desenvolveu dois modelos complementares: i) O Modelo Brasileiro de Uso da Terra (sigla BLUM, em inglês) e (ii) SIMBRASIL. O BLUM é um modelo econométrico que calcula a alocação de terras e mede as mudanças no uso da terra como resultado da dinâmica oferta-e-demanda no caso de atividades concorrentes importantes.⁶ O SIMBRASIL, um modelo georreferenciado de espacialização, calcula o uso futuro da terra de acordo com vários cenários; não altera os dados do BLUM, mas encontra um lugar para atividades que envolvam o uso da terra, levando em consideração critérios como aptidão para a agricultura, distância até as rodovias, concentração urbana, custo do transporte até os portos, declividade e distância até áreas convertidas. O SIMBRASIL trabalha com um nível de definição de 1 km², possibilitando a geração de mapas e tabelas detalhados.

De acordo com o Cenário de Referência, são necessários aproximadamente 17 milhões de hectares adicionais de terras para poder acomodar a expansão de todas as atividades durante o período de 2006 a 2030. Em todo o Brasil, a área total alocada a usos produtivos, estimada em 257 milhões de hectares em 2008, deve passar por uma expansão de 7 por cento – atingindo em torno de 276 milhões de hectares em 2030; 24 por cento desse crescimento deve dar-se na Região Amazônica. Em 2030, da mesma forma que em 2008, a expectativa é que as terras de pastagem ocupem a

4 Entre 1970 e 2007, a Amazônia perdeu em torno de 18% da sua cobertura florestal original; ao longo dos últimos 15 anos, o Cerrado perdeu 20% da sua área original, enquanto que a Mata Atlântica, que já havia sofrido intenso desmatamento anteriormente, perdeu 8 por cento.

5 Depois de alcançar o pico em 27.000 km² em 2004, as taxas de desmatamento apresentaram substancial declínio, chegando a 11.200 km² em 2007, a segunda mais baixa taxa histórica registrada pelo programa de observação do desmatamento – PRODES – (INPE 2008). As taxas de desmatamento baixaram mais ainda em 2008 e 2009.

6 Essas atividades incluem seis cultivos principais (soja, milho, algodão, arroz, feijão e cana-de-açúcar), pastagens e matas de produção; além disso, o modelo projeta a demanda por vários tipos de carne e necessidades correspondentes de soja e de milho.

maior parte dessa área (205 milhões de hectares em 2008 e 207 milhões em 2030). O crescimento verificado ao longo do tempo nesse valor total torna necessário converter a vegetação nativa em uso para produção, o que ocorre principalmente nas regiões de fronteiras, na Região Amazônica e – em menor escala, no Maranhão, no Piauí, no Tocantins e na Bahia.

Para calcular o balanço correspondente de emissões anuais e remoção de carbono ao longo do período seguinte de 20 anos, estes modelos e outros modelos relacionados calcularam o uso da terra e a modificação no uso da terra para cada parcela de terra de 1km², em vários níveis.⁷ De acordo com os resultados, as mudanças no uso da terra geradas pelo desmatamento respondem pela maior parcela das emissões anuais relacionadas a LULUCF – praticamente 533 MtCO₂e até 2030. As emissões anuais diretas geradas apenas pelo uso da terra (para agricultura e pecuária) registram aumento durante o período, com taxa anual média de 346 MtCO₂e. A remoção de carbono compensa menos de 1 por cento das emissões brutas geradas por LULUCF, sequestrando 29 MtCO₂e em 2010, caindo para 20 MtCO₂e em 2030. Durante o período de 20 anos, as emissões brutas geradas por LULUCF sofreram aumento de um quarto, chegando a 916 MtCO₂e até 2030. O balanço líquido entre o uso da terra, a mudança no uso da terra e a remoção de carbono resulta em um aumento das emissões, que chega a aproximadamente 895 MtCO₂e por ano até 2030⁸.

Opções de Baixo Carbono para Mitigação de Emissões e Remoção de Carbono

De longe, evitar o desmatamento é a opção que oferece a maior oportunidade para a mitigação de GEE no Brasil. De acordo com o Cenário de Baixo Carbono resultante, as emissões geradas pelo desmatamento que seriam evitadas corresponderiam a em torno de 6,2 GtCO₂e ao longo do período entre 2010 e 2030, ou mais de 295 MtCO₂e por ano.

O Brasil desenvolveu políticas e projetos para a proteção das florestas para enfrentar a progressão da pressão nas fronteiras e tem experiência com atividades econômicas que são compatíveis com a sustentabilidade das florestas. **A migração para um Cenário de Baixo Carbono que possa garantir o crescimento da agricultura e da indústria de carne – ambos importantes para a economia brasileira – exigiria também o desenvolvimento de ações referentes à causa primária do desmatamento: a demanda por mais terra para a agricultura e para a pecuária.**

Para reduzir drasticamente o desmatamento, o presente estudo propôs uma estratégia dupla: (i) eliminar as causas estruturais do desmatamento e (ii) proteger a floresta contra tentativas ilegais de derrubadas. A eliminação das causas estruturais do desmatamento exigiria um aumento dramático da produtividade por hectare. **O aumento da produtividade da pecuária poderia liberar enormes áreas de pastagem.** Tecnicamente, essa opção é possível, uma vez que a produtividade

7 Microrregião, estado e país.

8 Ao calcular o inventário nacional de carbono, alguns países consideram a contribuição da regeneração natural com respeito à remoção de carbono; e, portanto, apesar do fato de este estudo não incluir esta contribuição no balanço de carbono das atividades do LULUCF, é justo acrescentar esta informação para fins de comparação. Se a remoção de carbono através da regeneração natural de florestas degradadas fosse incluída, o potencial de remoção aumentaria em 109 MtCO₂e por ano, reduzindo assim as emissões líquidas.

da pecuária brasileira é em geral baixa e os sistemas existentes de confinamento de gado e de lavoura-pecuária poderiam ser expandidos; o emprego de sistemas mais intensivos de produção poderia desencadear retornos econômicos superiores e ganhos líquidos para a economia do setor (capítulo 7). **O potencial representado pela liberação e pela recuperação de áreas degradadas de pastagem seria suficiente para acomodar o mais ambicioso dos cenários de crescimento.**

A combinação da redução da área de pastagem e da proteção das florestas pode resultar em um acentuado declínio das emissões geradas pelo desmatamento. Isso ficou demonstrado durante o período de 2004 a 2007, quando novos esforços em prol da proteção das florestas, combinados a uma ligeira contração do setor de pecuária e, conseqüentemente, da área dedicada à pastagem⁹, levou a uma redução de 60 por cento no desmatamento (de 27.000 para 11.200 km²). **Essa rápida redução resultou do desmatamento e das emissões associadas a ele estando relacionadas à *expansão marginal* da terra usada para agricultura e pecuária,¹⁰ sem a qual não haveria necessidade de conversão de vegetação nativa adicional, com a conseqüente geração de emissões de GEE. Caso fossem negligenciados os esforços para reduzir a área dedicada à pastagem e para proteger as florestas, as emissões do desmatamento seriam imediatamente reiniciadas. Para proteção contra a derrubada ilegal, a floresta deveria ser ainda mais protegida contra interesses fraudulentos.** O governo brasileiro vem implementando esforços consideráveis nessa área, em especial como resultado do Plano de Ação de 2004 para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAM).

De acordo com projeções baseadas em modelos, com a nova dinâmica de uso da terra, o desmatamento estaria reduzido em mais de dois terços (68 por cento) em 2030, em comparação com os níveis *projetados* no Cenário de Referência; na Mata Atlântica, a redução seria de aproximadamente 90%, enquanto na Amazônia e no Cerrado teríamos reduções de 68 e 64%, respectivamente. **Da mesma maneira, em 2030 as emissões anuais oriundas do desmatamento seriam reduzidas em quase 63% (de aproximadamente 530 MtCO₂ para 190 MtCO₂), em comparação com o Cenário de Referência projetado. Na Amazônia, o nível de desmatamento sofreria queda rápida, atingindo em torno de 17% da média histórica anual de 19.500 km² observada no passado recente, dessa forma atendendo à meta do PNMC, de reduzir em 72% o desmatamento na região Amazônica até 2017¹¹.**

O estudo propôs ainda formas para reduzir as emissões diretas geradas pelas atividades de produção agrícola e pecuária. Em comparação com os sistemas agrícolas convencionais, o plantio direto envolve um número muitas vezes menor de operações, podendo assim reduzir as emissões causadas pela conversão do carbono do solo e que emprega equipamento movido a combustíveis fósseis. Quando empregado com efetividade,

9 O período de 2005 a 2007 testemunhou o primeiro declínio no tamanho do rebanho (de 207 para 201 milhões de cabeças) após um aumento que se estendeu por uma década, juntamente com uma ligeira contração da área dedicada à pastagem (de 210 milhões para 207 milhões de ha).

10 Diferentemente de outros setores, cujas emissões baseadas em energia são em geral proporcionais ao *porte pleno* das atividades do setor, as emissões do desmatamento relacionam-se apenas à *expansão marginal* da agricultura e da pecuária.

11 Durante o período de 1996 a 1995, a taxa histórica de desmatamento verificada na região Amazônica foi de 1,95 milhão de hectares por ano, de acordo com o PNMC.

o plantio direto pode ajudar a controlar a temperatura do solo, melhorar a sua estrutura, aumentar a capacidade de armazenamento de água no solo, reduzir a perda desse solo e incrementar a retenção de nutrientes nas plantas. Por todos esses motivos, é acelerada a expansão do plantio direto no Cenário de Baixo Carbono, que deve chegar a 100% até 2015 e que deve resultar em 356 MtCO₂e de emissões evitadas durante o período de 2010 a 2030.

Para reduzir as emissões diretas causadas pela criação de gado de corte, o estudo propôs a migração para sistemas mais intensivos de produção de carne, como já foi anteriormente mencionado. Além disso, apresentou opções de melhoramento genético para a redução do CH₄, incluindo melhoramento da forragem para herbívoros e touros geneticamente superiores, que possuem ciclo de vida mais curto. De acordo com projeções apresentadas pelo estudo, a combinação da forragem melhorada e dos touros, associada ao aumento de produtividade, resultaria na redução das emissões diretas causadas pelos animais de 272 para 240 MtCO₂ por ano até 2030, ou seja, mantendo-as próximas aos níveis de 2008.

O estudo explorou ainda duas importantes opções de remoção de carbono: (i) restauro das matas nativas e (ii) florestas de produção para a indústria de aço e de ferro. No caso do restauro de florestas, o Cenário de Baixo Carbono considerou a observação das ações legais referentes à reconstituição obrigatória, de acordo com a legislação referente às matas ciliares e reservas legais.¹² Nesse sentido, o Cenário de Baixo Carbono deu origem a um “cenário da legalidade”. Utilizando essas áreas definidas para reflorestamento, o estudo modelou o seu potencial para redução de CO₂.¹³ De acordo com o que ficou demonstrado pelo cenário da legalidade, o potencial de remoção de carbono é alto: um total cumulativo de 2.9 GtCO₂e ao longo do período de 20 anos, ou aproximadamente 140 MtCO₂e por ano, em média.¹⁴ No caso das florestas de produção, o Cenário de Referência supôs que o processo de termo-redução seria baseado no coque (66%), carvão vegetal não-renovável (24%) e carvão vegetal renovável (10%) a partir de estimativas que refletem a situação atual. Foram desenvolvidos dois Cenários de Baixo Carbono. O primeiro refletiu somente a manutenção da atual participação do carvão vegetal na produção siderúrgica (aproximadamente 34%), porém com a origem totalmente renovável. O segundo – considerado nos cálculos globais deste relatório – foi mais ousado para que a hipótese de concorrência pelo uso da terra por florestas plantadas fosse levada em consideração de modo bastante conservador, supondo uma substituição total do carvão vegetal não-renovável até 2017 e o emprego do carvão vegetal renovável em até 46% da produção total de ferro e lastro de aço até 2030. Com isso, o volume de remoções de gases de efeito estufa ou de “sequestro” totalizaria entre 500 e 700 MtCO₂ em 2030, ou entre 321 e 517 MtCO₂ a mais do que no Cenário de Referência.

12 Nas áreas que exibissem condições ótimas, a recuperação das florestas conseguiria remover até 100 tC por ha na região Amazônica. No Cenário de Referência, sua contribuição fica limitada em termos de quantidade.

13 O modelo do estudo usou variáveis meteorológicas e climáticas (por exemplo, pluviosidade, estação de seca e temperatura) e variáveis edáficas (solo e topografia) para calcular o potencial de biomassa.

14 Se a remoção de carbono através da regeneração natural de florestas degradadas fosse incluída, o potencial de remoção aumentaria em 112 MtCO₂ por ano, em média.

Uma Nova Dinâmica no Uso da Terra

A construção de um Cenário de Baixo Carbono para o uso da terra envolve mais do que acrescentar as reduções de emissões associadas às oportunidades de mitigação; precisa também evitar o potencial de vazamento de carbono. Por exemplo, aumentar o restauro de florestas resulta em remoção de carbono, mas reduz também a área de terra que, de outra forma, estaria disponível para expansão das atividades da agricultura e da pecuária. Por sua vez, isso poderia provocar um excesso na demanda pelo uso da terra, o que poderia gerar desmatamento, induzindo um balanço líquido inferior de remoção de carbono. Para evitar o vazamento de carbono é preciso encontrar maneiras de limitar a demanda global por terra para outras atividades, mantendo ao mesmo tempo o mesmo nível de fornecimento de produtos encontrado no Cenário de Referência.

No Cenário de Baixo Carbono, a quantidade de terras adicionais necessárias para a mitigação das emissões e para a remoção de carbono chega a mais de 53 milhões de hectares. Dessa quantidade, mais de 44 milhões de ha – mais do que o dobro da expansão de terra projetada no Cenário de Referência – seriam destinados à recuperação de florestas. Juntamente com as terras adicionais necessárias de acordo com o Cenário de Referência, o volume total de terras adicionais necessárias chega a mais de 70 milhões de ha, mais do que duas vezes a extensão total de terras plantadas com soja (21,3 milhões de ha) e com cana-de-açúcar (8,2 milhões de ha) em 2008, ou mais do que duas vezes a área de soja projetada para 2030 no Cenário de Referência (30,6 milhões de ha) (Tabela 1).

Tabela 1: Sumário das necessidades adicionais de terras nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono

Cenário	Terras Adicionais Necessárias (2006–30)
Cenário de Referência: volume adicional de terras necessário para a expansão das atividades de agricultura e pecuária	<i>Expansão da produção agrícola e de pecuária para atender às necessidades previstas para 2030:</i> <ul style="list-style-type: none">• 16,8 milhões de ha
Cenário de Baixo Carbono: volume adicional de terras necessário para medidas de mitigação	Eliminação de carvão vegetal não-renovável em 2017 e participação de 46% de carvão vegetal renovável para a produção de ferro e aço em 2030: <ul style="list-style-type: none">• 2,7 milhões de ha
	Expansão da cana-de-açúcar, para aumentar a substituição da gasolina pelo etanol até atingir a marca de 80% no mercado interno e fornecimento de 10% da demanda global estimada, para alcançar uma média de 20% de etanol presente na mistura com a gasolina em todo o mundo até 2030: <ul style="list-style-type: none">• 6,4 milhões de ha
	Restauração do passivo ambiental no que diz respeito às “reservas legais” de florestas, calculadas em 44,3 milhões de ha em 2030. <ul style="list-style-type: none">• 44,3 milhões de ha
Total	70,4 milhões de hectares adicionais

Para aumentar a produtividade da pecuária, com vistas a atingir o nível necessário para liberação do volume exigido de terras de pastagem, o Cenário de Baixo Carbono considerou três opções: (i) promover a recuperação de áreas degradadas de pastagem, (ii) estimular a adoção de sistemas produtivos que envolvam confinamento de gado para engorda e (iii) encorajar a adoção de sistemas de lavoura-pecuária. O aumento da taxa de lotação resultante da recuperação de áreas degradadas, combinado a sistemas integrados mais intensivos de lavoura-pecuária e confinamento de gado para engorda refletem-se em acentuada redução na demanda por terra, projetada para ser de aproximadamente 138 milhões de ha no Cenário de Baixo Carbono, em comparação com 207 milhões de hectares no Cenário de Referência para o ano de 2030. A diferença seria suficiente para absorver a demanda por terras adicionais associadas tanto à expansão das atividades de agricultura e pecuária no Cenário de Referência, quanto à expansão da mitigação e remoção de carbono, no Cenário de Baixo Carbono.

Um Cenário Nacional de Baixo Carbono

O Cenário de Baixo Carbono elaborado para o Brasil pelo estudo global multisetorial é um agregado dos que foram desenvolvidos para cada um dos quatro setores considerados no estudo. Em cada um dos setores, inclusive no setor de uso do solo estudado neste relatório, foram analisadas as oportunidades mais significativas para mitigar e sequestrar GEEs, enquanto deixaram de ser consideradas opções menos promissoras, ou já plenamente exploradas, no Cenário de Referência. Em resumo, esse Cenário nacional de Baixo Carbono deriva-se de uma simulação de baixo para cima e determinada pela tecnologia, focalizando subsetores individuais (por exemplo, plantio direto na palha ou redução do desmatamento), baseando-se em avaliações detalhadas dos pontos de vista técnico e econômico das opções viáveis no contexto brasileiro, além da otimização setorial para dois dos quatro principais setores (uso da terra e transportes).

Esse Cenário nacional de Baixo Carbono foi construído de forma coordenada, de modo a garantir plena consistência entre os quatro principais setores considerados. Com o intuito de assegurar a transparência, os métodos e os resultados foram apresentados e discutidos em várias ocasiões, com vários representantes de governo.¹⁵ **Por outro lado, não existe a presunção de que esse Cenário de Baixo Carbono tenha explorado todas as opções possíveis para mitigação, ou que represente uma combinação preferida e recomendada. Este cenário, que simula o resultado combinado de todas as opções cobertas por este estudo, deve ser considerado como sendo modular – como um menu de opções – e não prescritivo, em especial já que a economia política pode revelar-se significativamente distinta entre setores ou regiões,** o que faz com que determinadas opções de mitigação, que inicialmente possam parecer mais dispendiosas, sejam mais fáceis de ser aproveitadas do que outras, que no começo aparentem ser mais atraentes do ponto de vista econômico.

Esse Cenário de Baixo Carbono representa redução de 37% nas emissões

¹⁵ Foram realizados três seminários nos últimos anos (14 a 16 de setembro de 2007, 30 de abril de 2008 e 19 de março de 2009) para apresentar e discutir a metodologia de estudo, os resultados intermediários e os resultados quase finais, com a participação de representantes de 10 ministérios. Equipes setoriais interagiram também em várias ocasiões com representantes de áreas técnicas e de agências públicas.

brutas de GEE ao longo do período compreendido entre 2010 e 2030, em comparação com o Cenário de Referência. A redução cumulativa total das emissões durante o período chega a mais de 11,1 GtCO₂e, o que corresponde a cerca de 37% das emissões cumulativas observadas no Cenário de Referência. As projeções referentes às emissões brutas em 2030 são 40% mais baixas no Cenário de Baixo Carbono (1.023 MtCO₂e por ano), em comparação com o Cenário de Referência (1.718 MtCO₂e por ano) e 20% mais baixas do que em 2008 (1.288 MtCO₂e por ano – ver Tabela 2, Figura 1). Além disso, o plantio de florestas e a recuperação de reservas legais deverão sequestrar o equivalente a 16% das emissões verificadas no Cenário de Referência em 2030 (213 MtCO₂e por ano).¹⁶

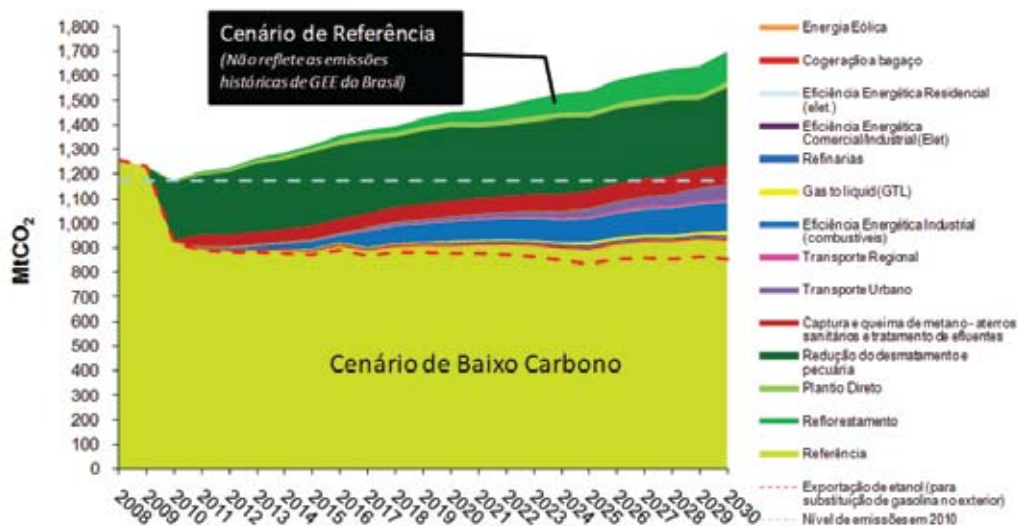
Tabela 2: Comparação da distribuição das emissões entre os setores nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono, 2008-2030

Setor	Referência 2008		Referência 2030		Baixo Carbono 2030	
	MtCO ₂ e	%	MtCO ₂ e	%	MtCO ₂ e	%
Energia	232	18	458	26	297	35
Transporte	149	12	245	14	174	17
Resíduos	62	5	99	6	18	2
Desmatamento	536	42	533	31	196	19
Pecuária	237	18	272	16	249	24
Agricultura	72	5	111	6	89	11
Total Bruto de Emissões	1.288	100	1.718	100	1.023	100
Remoção de carbono	295	2	-21	-1	-213	21
Total Líquido de Emissões	1.259	98	1.697	99	810	79

As duas áreas onde o Cenário de Baixo Carbono proposto registra maior sucesso em termos de redução das emissões líquidas são a redução do desmatamento e o aumento da remoção de carbono. Os principais fatores impulsionadores são (i) a redução da extensão total de terras necessárias, através de ganhos significativos na produtividade da pecuária, para acomodar a expansão da agricultura e da produção de carne e (ii) o restauro das reservas legais de florestas e as florestas de produção para a produção de carvão vegetal renovável para a siderurgia. Até 2017, o Cenário de Baixo Carbono proposto reduziria o desmatamento em mais de 80%, em comparação com a média registrada no período de 1996 a 2005, garantindo assim a conformidade com o compromisso do governo brasileiro assumido em dezembro de 2008.

Figura 1: Diferenças de mitigação de GEE no Cenário de Baixo Carbono, 2008–30.

16 Se a remoção de carbono através da regeneração natural de florestas degradadas fosse incluída, o potencial de remoção aumentaria em 112MtCO₂ por ano, em média, reduzindo assim as emissões líquidas.



Nos setores de energia e de transportes, é mais difícil reduzir as emissões, uma vez que já estão em níveis baixos, de acordo com os padrões internacionais, o que é principalmente explicado pela hidroeletricidade e pelo bioetanol, como substituto para a gasolina na atual matriz energética. Consequentemente, a participação relativa desses setores nas emissões nacionais aumenta mais no Cenário de Baixo Carbono do que no Cenário de Referência (ver relatórios sobre os setores de transportes, energia e resíduos, ou o relatório de síntese geral).

Enfrentando o Desafio do Cenário de Baixo Carbono

A implementação do Cenário de Baixo Carbono proposto exige que seja enfrentada uma variedade de desafios em cada uma das quatro áreas consideradas. A estratégia combinada de liberar áreas de pastagem e proteger florestas para reduzir o desmatamento a 83% dos níveis historicamente observados implica em cinco desafios principais. **Em primeiro lugar, os sistemas produtivos de criação de animais são muito mais intensivos em capital, tanto na etapa de investimento quanto em termos de capital de giro.** Fazer com que os pecuaristas migrem para esses sistemas significaria ter que oferecer-lhes grandes volumes de financiamento em condições atraentes, bem acima dos níveis atuais de oferta de crédito. Em outras palavras, grande volume de incentivos associados a critérios mais flexíveis de empréstimos, para que esse financiamento fosse viável, tanto para pecuaristas quanto para o sistema bancário. Uma primeira tentativa de estimar o volume de incentivos necessários sinaliza uma ordem de magnitude de US\$1,6 bilhão por ano, ou US\$34 bilhões durante o período. **Em segundo lugar, esses sistemas exigem níveis mais altos de qualificação do que o tipo tradicional de pecuária extensiva,** que está acostumado a passar para novas áreas tão logo a produtividade da pastagem se mostre degradada, eventualmente convertendo vegetação nativa

em pasto. Assim sendo, o esforço de financiamento precisa ser acompanhado de um intenso desenvolvimento de serviços de extensão.

Um terceiro desafio tem a ver com evitar o efeito de rebote: níveis superiores de lucratividade oriundos da necessidade de menos terra para produzir o mesmo volume de carne poderiam desencadear incentivos para produzir mais carne e possivelmente converter mais florestas nativas em pasto. Um risco assim é especialmente alto em áreas onde tenham sido abertas ou pavimentadas novas estradas. Portanto, é preciso que o incentivo oferecido seja seletivo, principalmente na região Amazônica. Somente deve ser concedido quando ficar claramente estabelecido, com base em títulos válidos e georreferenciados de propriedade da terra, que o projeto excluirá tanto a conversão de vegetação nativa em pasto, quanto áreas convertidas em anos recentes (por exemplo, há menos de cinco anos).

Em quarto lugar, várias opções atraentes no Cenário de Baixo Carbono, focalizadas em mitigar as emissões ou expandir a remoção de carbono, **ampliam a necessidade de liberar áreas de pastagem para evitar vazamento de carbono.** Por exemplo, se por um lado o replantio de floresta para atender à Lei das Reservas Legais funcionasse para remover grande quantidade de dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera, essa área já não estaria disponível para outras atividades. Uma quantidade adicional equivalente de pastagem teria que ser liberada, ou uma parte da produção teria que ser reduzida, ou mais floresta nativa seria eventualmente destruída em outro local. **Um tipo de obrigação legal mais flexível em relação às reservas florestais faria com que a meta para acomodar todas as atividades de agricultura, pecuária e florestais sem desmatamento fosse menos difícil de ser atingida, mas também poderia significar ao mesmo tempo uma menor remoção de carbono.**

Comentários Finais

O Brasil possui muitas oportunidades em relação à mitigação e à remoção das emissões de GEE na atmosfera. Isso coloca o país na posição de um dos principais atores capazes de enfrentar o desafio representado pela mudança climática global. O presente estudo conseguiu demonstrar que toda uma série de medidas de mitigação e remoção de carbono são tecnicamente viáveis, e que já estão em curso esforços promissores. **Por outro lado, a implementação dessas medidas propostas exigiria grandes volumes de investimentos e de incentivos, que podem estar além de uma resposta estritamente nacional, exigindo suporte financeiro internacional.** Além disso, para que o Brasil possa aproveitar todo o leque de oportunidades para mitigação das emissões de GEE, não seriam suficientes mecanismos de mercado. Políticas públicas e planejamento seriam essenciais, com o gerenciamento da competição pela terra e a proteção das florestas no seu cerne.

1 Introdução

A necessidade urgente de combater as mudanças climáticas globais já foi firmemente estabelecida. Uma abundante quantidade de provas científicas, incluindo o Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC 2007) e uma análise recente sobre a economia das mudanças climáticas, liderada por Nicholas Stern (Stern 2007), enfatizam os riscos severos à vida humana, ao meio ambiente e à economia global. De acordo com Stern, nossa decisão sobre como viver nos próximos 20-30 anos – como vamos tratar as florestas, gerar e usar energia e organizar os transportes – determinará se os riscos apresentados pelas mudanças climáticas poderão ser gerenciados (Stern 2009).

Gestão do Risco: Níveis Almejados

O fracasso em manter as concentrações de gases do efeito estufa (GEE) abaixo de certos níveis acarretaria sérios riscos para nosso planeta. Estudos recentes estabeleceram vários níveis de redução a serem alcançados; mas todos esses estudos indicam níveis máximos que serão atingidos em pouco tempo. O IPCC (2007) concluiu que para estabilizar a concentração de GEE em 550 partículas por milhão (ppm) – nível em que seria possível conter o aumento mediante uma temperatura média global menos de 3° C acima da média pré-industrial¹⁷ – seria necessário que as concentrações atingissem seu pico, no máximo, até 2030 e, depois disso, caíssem drasticamente até 2050. Nesse cenário, o IPCC estima que as emissões globais precisariam ser reduzidas a aproximadamente 29 Gt de CO₂ e até 2030.

Outro estudo, realizado pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC), projeta uma redução para 61,5 GtCO₂ e até 2030. Nesse cenário, as emissões dos países do Anexo I (industrializados) aumentariam de 21 GtCO₂ e para apenas 22.1 GtCO₂ e até 2030¹⁸, enquanto a maior parte das emissões globais – 50-70% das emissões potencialmente mitigáveis – viriam de países em desenvolvimento que não estão no Anexo I. Apesar do tamanho da incerteza, está claro que os países em desenvolvimento têm um papel crucial a desempenhar na formulação de políticas e ações internacionais para cortar as emissões na escala necessária.

O Contexto Brasileiro: Papel-Chave das Florestas e de Outros Setores

É difícil imaginar uma solução efetiva para estabilizar as concentrações de GEE na escala necessária sem que o Brasil desempenhe um papel proeminente. A floresta amazônica, que cobre uma grande parte do território nacional, é um reservatório de pelo menos 100 bilhões de toneladas de carbono, correspondendo a mais de 10 vezes a quantidade de carbono emitido globalmente a cada ano. Em vista das grandes áreas florestais do Brasil – perdendo apenas para as da Indonésia – talvez não seja de surpreender que a maior parte das emissões globais resultantes do desmatamento venha desses dois países.

17 Ou aproximadamente 2,5° C acima da média do início da década de 2000.

18 Detalhes estão disponíveis em: http://unfccc.int/ghg_data/ghg_data_unfccc/time_series_annex_i/items/3814.php

Ao mesmo tempo, é provável que o Brasil sofra de forma significativa os efeitos adversos das mudanças climáticas. Alguns modelos avançados predizem que uma boa parte da porção leste da região amazônica brasileira poderia ser convertida para um ecossistema semelhante às savanas antes do final deste século. Esse fenômeno, conhecido como o “Amazon Dieback” (Retração da Amazônia), combinado com os efeitos de mais curto prazo do desmatamento por queimadas, poderia reduzir a precipitação nas regiões Centro-Oeste e Norte, resultando em menores colheitas e menos disponibilidade de água para a geração de energia hidrelétrica¹⁹.

Por ser o maior país tropical do mundo, o perfil de emissões de GEE do Brasil é bastante singular. A disponibilidade de uma grande extensão de terra adequada para agricultura e pastagens possibilitou que a agricultura e a pecuária se tornassem setores-chave para a sustentação do crescimento econômico do país, representando em média 25% do PIB nacional na última década. Em consequência, áreas agrícolas e pastagens avançaram sobre o território de maneira constante por décadas, transformando áreas com vegetação nativa e tornando a mudança do uso do solo na principal fonte de emissão de GEEs do país. Adicionalmente, o Brasil utilizou o patrimônio de recursos naturais de seu enorme território para desenvolver de forma vigorosa a produção de energia renovável, através da construção de diversas grandes barragens para geração de energia hidrelétrica e substituindo em grande escala a gasolina pelo bioetanol, levando a uma matriz energética de baixa intensidade de carbono.

Sem contar o uso do solo, as mudanças no uso do solo e as atividades florestais (LULUCF na sigla em inglês), o Brasil responde por apenas 2,3% das emissões globais de GEE, mas até alguns anos atrás, essa porcentagem aumentava mais 3% quando as emissões resultantes de LULUCF eram consideradas²⁰. O setor LULUCF é de fato crucial, respondendo por aproximadamente dois terços das emissões líquidas de CO₂ do Brasil em 2008, onde o desmatamento sozinho representa dois terços dessa quantidade. Em contraste, o setor energético do Brasil tem uma intensidade *per capita* de carbono de apenas 1,9 tCO₂ por ano – aproximadamente metade da média global e menos de um quinto da média dos países da OECD. Se o Brasil não tivesse investido previamente em energia renovável e tivesse, em vez disso, desenvolvido uma matriz energética similar à combinação de modos de geração de energia comum no resto do mundo, as emissões do setor energético sozinho seriam o dobro do que são hoje, e as emissões nacionais totais seriam 17% mais altas.

Quatro setores contribuem de maneira decisiva para as emissões brasileiras de GEE. O primeiro e mais importante é o LULUCF, que cobre as dimensões florestais descritas acima. Existem ainda três outros grandes setores responsáveis pelas emissões: (i) energia, (ii) transportes e (iii) gestão de resíduos. Em 2008, as contribuições respectivas desses três setores para as emissões foram 18%, 14% e 5%. Embora a contribuição da gestão de resíduos tenha sido baixa em 2008, ela aumentou mais de 60% nas últimas duas décadas.

19 “Assessment of the Risk of Amazon Dieback,” (“Avaliação do Risco de Retração da Amazônia”), Banco Mundial, outubro de 2009.

20 O alinhamento das metodologias utilizadas para contabilizar o sequestro de carbono no Brasil com as metodologias utilizadas em outros países pode alterar essas porcentagens.

Um Compromisso Nacional para Combater as Mudanças Climáticas

Há tempos, as mudanças climáticas já constituem uma parte vital da agenda nacional brasileira. Em junho de 2002 o Brasil sediou a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, conhecida como a Cúpula da Terra do Rio, que resultou na UNFCCC e, posteriormente, no Protocolo de Quioto. Desde então, o Brasil tem desempenhado um papel central no diálogo internacional sobre mudanças climáticas. Em 2007 o governo brasileiro criou a Secretaria de Mudanças Climáticas dentro do Ministério do Meio Ambiente. No ano seguinte, o Presidente Luiz Inácio Lula da Silva lançou o Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC)²¹, que coloca essa questão na frente da agenda nacional. No dia 29 de dezembro de 2009, o Governo Brasileiro aprovou a Lei 12.187, que institui a Política Nacional de Mudanças Climáticas do Brasil, assim como um conjunto de metas voluntárias de redução dos gases de efeito estufa, entre 36,1% e 38,9% das emissões projetadas até 2020.

Tal como outros países em desenvolvimento, o Brasil enfrenta o desafio duplo de encorajar o desenvolvimento sócio-econômico e reduzir emissões de GEE ao mesmo tempo. O Presidente Lula expressou essa preocupação em sua introdução ao PNMC, afirmando que as ações para evitar futuras emissões de GEE não devem afetar adversamente os direitos dos pobres ao desenvolvimento, uma vez que eles nada fizeram para criar o problema. Reconhecendo a necessidade de um caminho de baixo carbono para o crescimento, o Brasil escolheu se beneficiar do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), um mecanismo financeiro inovador originalmente proposto pelo Brasil, definido no Artigo 12 do Protocolo de Quioto²². Até o momento, o Brasil iniciou mais de 300 projetos de MDL.

1.1 Contexto do estudo de baixo carbono

Objetivo e abordagem do estudo de baixo carbono

Para apoiar o esforço integrado do Brasil para reduzir suas emissões de GEE e promover o desenvolvimento econômico de longo prazo, esse estudo buscou construir um Cenário de Baixo Carbono transparente e internamente consistente, que pudesse ser utilizado pelo governo brasileiro como uma ferramenta para avaliar os elementos necessários para construir um caminho de baixo carbono para o crescimento. Esse estudo sobre as emissões brasileiras é um dos cinco estudos de caso focados em países específicos que contribuíram para a preparação do Marco para Investimento em Energia Limpa (CEIF).

O estudo enfatizou dois aspectos importantes: primeiro, na medida do possível, se baseou na literatura e nos estudos existentes para alavancar de forma efetiva a riqueza de informações existente. Em segundo lugar, o processo enfatizou uma abordagem

21 O PNMC foi baseado no trabalho do Comitê Inter-ministerial sobre Mudanças Climáticas e de seu Grupo Executivo, em colaboração com o Fórum Brasileiro sobre Mudanças Climáticas e organizações da sociedade civil.

22 O CDM permite que países fora do Anexo I sejam o local de implementação de atividades de projetos para a redução de emissões de GEE. Essas reduções de emissão podem ser certificadas e adquiridas por países do Anexo I para cumprir seus compromissos com a redução de emissões no âmbito do Protocolo de Quioto.

consultiva e interativa que envolveu extensas discussões e troca de informações com especialistas de campo e representantes do governo brasileiro. A equipe pesquisou exaustivamente a literatura e, através de um amplo processo consultivo, reuniu-se com mais de 70 especialistas brasileiros reconhecidos, técnicos e representantes do governo. O processo consultivo, combinado com o amplo conhecimento do Banco sobre as instituições brasileiras, permitiram que a equipe construísse parcerias com centros de excelência reconhecidos por sua especialidade nacional e internacional nos setores envolvidos.

Visão geral da metodologia do estudo

A equipe do estudo analisou as oportunidades existentes em cada um dos quatro setores identificados como principais emissores de GEE: uso do solo e mudanças no uso do solo (LULUCF); energia; transportes; e resíduos. Este relatório síntese apresenta apenas a parte sobre uso do solo e mudanças no uso do solo. No estudo completo, a equipe construiu o Cenário de Referência para os quatro setores até 2030 com base nas projeções atuais e exercícios de modelagem disponíveis para cada setor. Para os setores de energia e transportes, a equipe partiu de planos nacionais e urbanos de longo prazo já existentes. Porém, na falta de planos similares para LULUCF e gestão de resíduos, novos modelos e equações foram desenvolvidos de forma consistente com as projeções macroeconômicas e demográficas dos setores de energia e transportes até o ano de 2030²³. Para o setor de LULUCF a equipe utilizou dois modelos complementares: (i) Modelo de Uso do Solo para o Brasil (BLUM); e (ii) SIMBRASIL, um modelo de espacialização georreferenciado para alocar o uso do solo para locais e anos específicos, desenvolvido pelo Centro de Sensoriamento Remoto (CSR) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Para o setor de gestão de resíduos, a equipe trabalhou com a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) para desenvolver conjuntos de equações para modelar o descarte de resíduos.

Em seguida, o estudo avaliou as opções de mitigação e remoção de carbono, avaliando todos os subsetores relevantes para cada setor; determinou a viabilidade das opções investigadas e, finalmente, construiu Cenários de Baixo Carbono para cada setor.

1.2 Abordagem do relatório síntese sobre LULUCF

Este relatório sintetiza estudos específicos realizados sobre emissões resultantes do desmatamento, da agricultura, da pecuária, da produção de etanol e da produção de carvão para a siderurgia. Para construir o Cenário de Baixo Carbono

23 Para as emissões relacionadas ao desmatamento, a equipe partiu de exercícios de modelagem do sistema SimAmazônia, calibrados por dados históricos de satélite (Soares *et al.*, 2006) e estendeu esse modelo para os biomas Cerrado e Mata Atlântica. Para as emissões das atividades da agricultura e pecuária a equipe trabalhou com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), uma instituição pública que vem desenvolvendo extensos trabalhos sobre emissões da pecuária e do uso do solo.

de LULUCF, foram projetados o uso do solo e as mudanças no uso do solo de forma consistente com os biocombustíveis líquidos e sólidos projetados; desenvolvidos modelos geoespaciais para uso do solo; projeções do desmatamento adaptando exercícios existentes de modelagem; e projeções das emissões.

O passo seguinte foi a análise das opções de mitigação e remoção de carbono, através da análise das opções para reduzir a pressão do desmatamento e proteger as florestas, mitigar as emissões da agricultura e pecuária e para sequestrar carbono. Foi também realizada uma análise econômica para reduzir os custos das opções propostas. Para essas análises, a equipe adaptou o conceito de “cunha” desenvolvido por Pacala e Socolow (2004), que aumenta a escala de uma única área ou tecnologia para alcançar reduções significativas nas emissões de GEE que podem ser deduzidas do Cenário de Referência. Por causa da natureza sistêmica das emissões do setor de LULUCF, a equipe concluiu que somente a abordagem de cunha não era suficiente. Para esse setor, a equipe analisou o potencial do país para remoção de carbono em grande escala e para evitar as emissões de GEE em outros países por meio de maiores exportações de etanol. Para alguns subsetores, inclusive desmatamento e uso do solo, a equipe precisou fazer novas projeções que resultaram significativamente diferentes do Cenário de Referência, embora tenham sido mantidas as mesmas premissas (por exemplo: previsões da demanda, inflação e preços do petróleo).

Foi feita em seguida uma avaliação da viabilidade das opções identificadas, com a identificação de barreiras que limitam ou impedem a implementação das opções analisadas, dos benefícios ambientais e econômicos compartilhados e das medidas para superar as barreiras.

Por último, foi construído o Cenário de Baixo Carbono, com base na projeção dos novos usos do solo e mudanças no uso do solo (incluindo a extensão adicional de terra necessária para as opções de mitigação e remoção), na estimativa da redução do desmatamento, e nas projeções de redução de emissões. Por limitações de recursos, este estudo não realizou um quinto passo, que é ainda necessário para avaliar a sustentabilidade do Cenário de Baixo Carbono, incluindo seu impacto macroeconômico.

Este relatório está dividido em cinco partes: uma introdução sobre o estudo de baixo carbono e as principais questões relativas às emissões de GEE relacionadas ao uso do solo; um capítulo sobre o Cenário de Referência para LULUCF; um capítulo sobre as opções de mitigação e de remoção de carbono; um capítulo sobre o Cenário de Baixo Carbono para LULUCF; e uma análise dos custos de transição do Cenário de Referência para o Cenário de Baixo Carbono proposto.

2 *Cenário de Referência*

As florestas do Brasil representam enorme estoque de carbono. A Amazônia, reservatório de cerca de 47 bilhões de toneladas de carbono²⁴, sequestra permanentemente mais de 10 vezes o volume emitido globalmente a cada ano. Ao mesmo tempo, em 2010, o Brasil era o segundo maior emissor de dióxido de carbono (CO₂) como resultado do desmatamento – fenômeno com frequência causado pela necessidade de converter terras em áreas de produção agrícola e de pastagem para pecuária.²⁵

Algo que não é surpreendente é que o setor de uso da terra, mudanças no uso da terra e florestas (LULUCF) responde por mais de dois terços das emissões brutas de CO₂ e do Brasil; desse volume, cerca de dois terços resultam do desmatamento, sendo o restante originário da produção agrícola e da pecuária. A conversão de floresta para outros usos da terra resulta em emissões de GEE provenientes dos solos, enquanto o processo digestivo de ruminantes resulta em emissões de metano (CH₄). Um desafio importante desse setor é identificar as oportunidades para controlar o balanço líquido de emissões de GEE oriundas do desmatamento e promover o crescimento econômico.

Este capítulo descreve o histórico e o desenvolvimento do Cenário de Referência do LULUCF.

2.1 Emissões do uso do solo, mudanças no uso do solo, desmatamento, agricultura e pecuária

2.1.1 Efeitos do uso da terra e da mudança no uso da terra sobre as emissões

Existem três maneiras principais através das quais o uso da terra e as mudanças no uso da terra contribuem para as emissões de carbono: (i) conversão de terras florestais para outros usos da terra (agricultura, pastagens, assentamentos, etc.), (ii) a produção agrícola e (iii) a pecuária. Além disso, o carbono absorvido através das atividades de reflorestamento afeta os níveis líquidos de GEE.

2.1.1.1 Desmatamento

De acordo com os resultados deste estudo, em 2008, o desmatamento respondeu por 40% das emissões brutas do Brasil. Quando a biomassa da floresta é destruída, principalmente através de queimadas e decomposição, o carbono é lançado na atmosfera. O Brasil vem convertendo áreas cobertas de floresta a um ritmo acelerado (aproximadamente 420.000 km² durante os últimos 20 anos). A Amazônia perdeu

24 Phillips et al, 2009: “Drought Sensitivity of the Amazon Rainforest” in *Science*.

25 Erin C. Myers Madeira: “Policies to Reduce Emissions from Deforestation and Degradation (redd) in Developing Countries”, RFF, December 2008.

cerca de 18% de sua cobertura florestal original entre 1970 e 2007, o Cerrado perdeu cerca de 20% de sua área original entre 1990 e 2005, enquanto a Mata Atlântica perdeu em torno de 8% durante o mesmo período (INPE 2009). Entre 1990 e 2005, o estoque de carbono do Brasil foi reduzido em 6 milhões de toneladas métricas, em grande parte como resultado do desmatamento²⁶, volume que equivale a um ano de emissões globais, combinando-se todas as fontes.

Desde que atingiram o máximo de 27.772 km² durante o período 2004-05, as taxas de desmatamento brasileiras vêm experimentando queda acentuada, chegando a 11.200 km² em 2007, a segunda taxa histórica anual mais baixa estimada pelo programa de avaliação do desmatamento (PRODES, desde 1998, de acordo com o INPE 2008)²⁷. Esta queda se acentuou nos últimos anos. Em parte, esse declínio reflete a valorização da moeda brasileira, o real (R\$), em comparação com o dólar dos Estados Unidos (US\$), o que fez com que a produção baseada em exportações se tornasse menos lucrativa. A implementação do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento da Amazônia Legal (PPCDAM), a melhor aplicação da legislação ambiental através de maior capacidade de monitoramento, além de políticas mais rigorosas de conservação, são fatores que contribuíram para essa redução.²⁸

Ainda que por um lado a dinâmica especial da expansão da pecuária e da agricultura na Amazônia determine o padrão do desmatamento ao nível regional, esse mesmo desmatamento é também afetado por uma dinâmica mais ampla. São forças nacionais e internacionais de mercado que impulsionam o desenvolvimento dos setores de carne e de agricultura no Brasil. Dependendo das tendências dos preços, toda uma linha de atividades agrícolas e de pecuária compete pela terra. Muitos estudos geográficos já demonstraram que a dinâmica espacial resultante tem escala nacional. Ao longo dos últimos trinta anos, verificou-se uma expansão do cultivo da soja de mais de 1.500 quilômetros, de Sul para Norte (de Gouvêlo, 1999).

Uma recente análise geoestatística mostra que a pecuária é o principal fator que impulsiona o desmatamento, seguida pela expansão da produção agrícola, muito embora outros fenômenos, como a migração, a abertura de estradas pavimentadas e a especulação fundiária também contribuam (Soares-Filho et al. 2009).

2.1.1.2 Produção agrícola

As emissões de GEE geradas pela produção agrícola são principalmente causadas por modificações nos estoques de carbono no solo e, em menor intensidade, por fertilizantes e resíduos, pelo cultivo de arroz irrigado de várzea, pela queima de resíduos agrícolas e pelo uso de combustíveis fósseis nas operações agrícolas. De acordo com os resultados deste estudo, em 2008, as emissões diretas oriundas da agricultura responderam por cerca de 6% das emissões nacionais brutas. A variação no estoque de carbono do solo corresponde à perda de matéria orgânica no solo, como resultado de um uso específico da terra.

26 National Plan for Climate Change, p. 67

27 11.030 km² em 1990

28 No período de 2003 a 2007, por exemplo, foram criadas 148 áreas protegidas, cobrindo 640.000 km².

2.1.1.3 Pecuária

A principal fonte de emissões oriundas da pecuária no Brasil é o metano (CH₄) gerado pelo processo digestivo dos ruminantes. De acordo com os resultados deste estudo, em 2008, as emissões diretas da pecuária responderam por cerca de 18 por cento das emissões nacionais brutas, estando predominantemente relacionadas à criação de gado de corte. De acordo com a Comunicação Nacional Inicial à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, em 1994 as emissões de metano provenientes do gado de corte foram responsáveis por mais de quatro quintos do total de emissões entéricas geradas pela pecuária brasileira. Assim sendo, este estudo deu ênfase às emissões e às alternativas de mitigação referentes a esse setor.

2.1.1.4 Remoção de carbono baseado na silvicultura

Além das fontes de emissões de GEE associadas ao uso da terra e à mudança no uso da terra, as árvores removem CO₂ da atmosfera e armazenam carbono no tronco, galhos, folhas, flores e frutos, assim gerando emissões negativas.²⁹ No Brasil, a remoção de carbono ocorre principalmente na recuperação natural de florestas degradadas e nas florestas de produção. De acordo com os resultados deste estudo, em 2008, estimou-se que a remoção de carbono florestal de deslocamento representa cerca de 4% das emissões nacionais brutas.

2.1.2 Metodologia de simulação do uso do solo e das mudanças do uso do solo

Para explorar as opções de mitigação das emissões originadas pelo desmatamento, é preciso primeiro projetar o desmatamento futuro, o que, por sua vez, exige simular o uso futuro da terra e a mudança nesse uso. Para estabelecer o Cenário de Referência, o estudo desenvolveu dois modelos: i) o Modelo Brasileiro de Uso da Terra (BLUM³⁰) (Quadro 1) e o (ii) SIMBRASIL (Quadro 2), modelos complementares que foram usados sequencialmente. O BLUM projetou o uso da terra e de mudanças no uso da terra até o ano de 2030, enquanto o SIMBRASIL, em seguida, alocou esse uso da terra e essa mudança no uso da terra a locais e anos específicos. Mas foi necessário determinar primeiro a área disponível para a expansão das atividades agropecuárias.

2.1.2.1 Área disponível para expansão das atividades produtivas

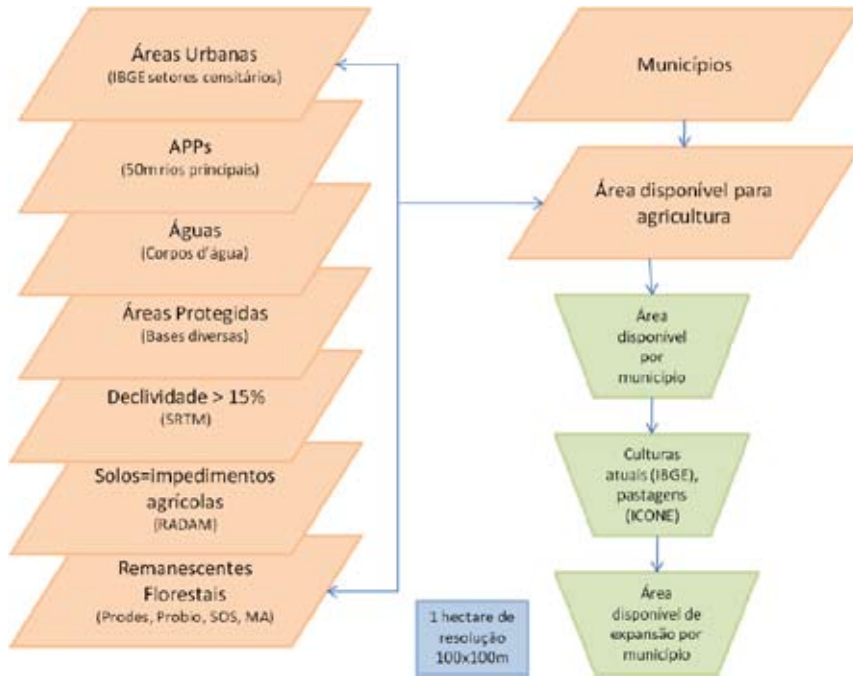
O uso e ocupação do solo no Brasil foram caracterizados combinando ferramentas de sensoriamento remoto e dados secundários, mensurando a área alocada com pastagens e a área disponível para expansão das lavouras, e estimando a área de cada município com passivo ambiental. A caracterização da área alocada com pastagens mostrou-se fundamental, uma vez que representa o estoque de terra já convertida para fins produtivos que pode ser utilizado para fins de lavoura e florestas à medida que

29 Para as culturas anuais, o aumento de estoques de biomassa em um único ano é considerado como igual às perdas de biomassa através da colheita e mortalidade durante o mesmo ano - portanto não há acúmulo das reservas de carbono através da biomassa. (IPCC GPG, página 3.71)

30 BLUM: Brazil Land Use Modeling

esses setores avançam. Como a produtividade das pastagens no Brasil é muito baixa, a intensificação das pastagens é uma das medidas mais importantes para viabilizar a expansão das lavouras e das florestas de produção sem efeito sobre a fronteira agrícola. A área disponível para uso produtivo (lavoura, pecuária e floresta de produção) foi definida assumindo que não haveria desmatamento adicional, ou seja, considerando apenas a área disponível de pastagens que poderia ser convertida para outro uso (ou uso mais intensivo), considerando como pastagens não apropriadas para lavouras aquelas em áreas com impedimento (Figura 2).

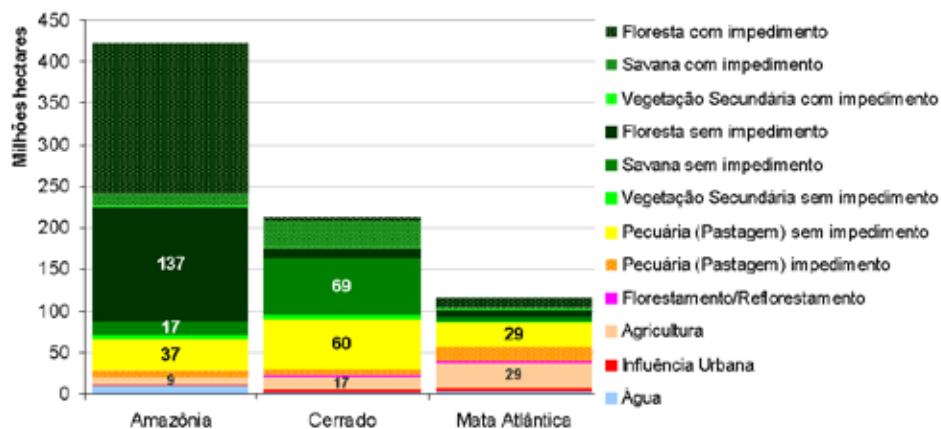
Figura 2: Cálculo da área disponível para expansão das atividades produtivas.



Fonte: UFMG

As áreas apropriadas para expansão de agricultura e florestas de produção sem a necessidade de desmatamento totalizam 126 milhões de hectares e, quando excluídas as áreas do bioma Amazônia e demais florestas, totalizam 89 milhões de hectares. Esses totais (Figura 3) são das pastagens em áreas sem impedimento, apropriadas para agricultura e florestas. Três informações dessa análise são fundamentais para o modelo econômico de uso do solo: área total de pastagens; área disponível para expansão da agricultura e de florestas de produção; e cálculo da área que precisa ser reflorestada para o cenário de legalidade.

Figura 3: Uso do solo por classes, excluindo os biomas Pampa, Caatinga e Pantanal.



Fonte: UFMG

Para o modelo de projeção de uso da terra, a área de pastagens conversível para agricultura equivale a uma restrição de área máxima a ser ocupada com lavouras e florestas nas projeções. Isso garante que as projeções, para cada microrregião, não levem a uma expansão da área de lavouras e florestas maior do que o montante disponível de pastagens. Dessa forma, a informação de área disponível é relevante para as projeções do Cenário de Baixo Carbono, cujo pressuposto básico é que toda a expansão agrícola e de florestas não poderia causar desmatamento e teria que ser acomodada nas pastagens aptas para essas atividades. A área conversível de pastagens foi importante também na abertura dos dados projetados para as macrorregiões e para as microrregiões. Cada microrregião tinha uma restrição de área máxima para lavouras e florestas definida pela área de pastagens conversíveis.

Entretanto, essa informação das pastagens conversíveis não foi utilizada nas projeções do Cenário de Referência, uma vez que nesse cenário não havia a preocupação de alocar a expansão de lavouras e florestas apenas nas áreas de pastagens. Ou seja, o Cenário de Referência considerou que toda a demanda adicional por terra projetada levaria a uma conversão de vegetação remanescente em pastagens, produção agrícola ou florestas. Nesse cenário, portanto, a informação relevante foi a vegetação remanescente em áreas sem impedimento, por macrorregião (Tabela 3). No Cenário de Referência, as projeções de expansão total de área (soma das lavouras, pastagens e florestas de produção) não poderiam ser maiores do que a área de vegetação remanescente apresentada abaixo. Observou-se que a demanda adicional por terra no Cenário de Referência foi muito menor do que a terra disponível de vegetação remanescente.

Tabela 3: Comparação entre a área total de pastagens e área de vegetação remanescente conversíveis para lavouras/florestas nas regiões do modelo BLUM (em mil hectares)

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

2.1.2.2 Modelagem econômica do uso do solo: Modelo BLUM

Dentro das parcerias do estudo de baixo carbono, o Instituto de Estudos do Comércio e Negociações Internacionais (ICONE) desenvolveu, em colaboração com o Instituto de Pesquisas Políticas em Alimentos e Agricultura (FAPRI) do Centro de Desenvolvimento Agrícola e Rural (CARD) da Universidade de Iowa, um modelo de projeção do uso do solo para o Brasil – o BLUM (*Brazilian Land Use Model*). Para as análises, o modelo divide o país em seis grandes regiões, de acordo com um critério de homogeneidade de produção e comercialização agropecuária, levando em conta também a divisão de biomas (Mapa 1): (1) Sul - Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul; (2) Sudeste - São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Minas Gerais; (3) Centro-Oeste Cerrado - Mato Grosso do Sul, Goiás e parte do Mato Grosso dentro do bioma Cerrado e Pantanal; (4) Norte Amazônia - parte do Mato Grosso dentro do bioma Amazônia, Amazonas, Pará, Acre, Amapá, Rondônia, Roraima; (5) MAPITO e Bahia - Maranhão, Piauí, Tocantins, Bahia; e (6) Nordeste Litorâneo - Alagoas, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Sergipe. Posteriormente, as projeções obtidas nas seis regiões foram desagregadas em microrregiões do IBGE. Essa desagregação é necessária para calcular o balanço das emissões de GEE do setor agropecuário e para a espacialização dos resultados.



Fonte: Baseado em dados do IBGE. Elaboração: ICONE

O BLUM está dividido em dois módulos, interligados entre si para fazer projeções sobre o uso do solo: (1) oferta e demanda e (2) alocação de área. O primeiro módulo é baseado em equilíbrios parciais de oferta e demanda dos produtos selecionados, para cada ano. A demanda é formada por três componentes: demanda doméstica, exportações líquidas (exportações menos importações) e estoque final (somente as demandas de leite, ovos e carnes não incluem a variável estoque final). A oferta é formada por dois componentes: produção e estoque inicial (este também somente para grãos, cana-de-açúcar e seus derivados³¹).

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

A demanda por cada produto é estimada nacionalmente a partir de equações econométricas. As variáveis explicativas das equações de demanda doméstica foram,

31 No caso da cana-de-açúcar, são considerados apenas os estoques de seus derivados: açúcar e etanol.

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

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

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

- O Cenário de Referência projeta o rebanho bovino assumindo que não haverá ganhos produtivos significativos no tempo por meio de melhorias em índices zootécnicos como idade de abate e taxa de reposição de animais. No entanto, dado que o modelo não possui índices zootécnicos endógenos, as equações de desfrute e reposição de bezerros são alteradas ajustando suas respostas às variações de preço.

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

Uma das decisões metodológicas foi a escolha e seleção dos produtos cobertos pelo Modelo BLUM, tendo em vista que seria impossível determinar quadros de oferta e demanda para todos os produtos agrícolas do Brasil e que existe uma concentração do uso de terra para alguns produtos. Os cálculos para construir o modelo de uso do solo consideraram a demanda total por produtos; a demanda por grãos; a demanda doméstica de algodão, arroz e feijão; a demanda doméstica de milho; a demanda doméstica de soja, farelo de soja e óleo de soja; as exportações líquidas de algodão, soja, farelo e óleo de soja; as exportações líquidas de milho, arroz e feijão; a demanda de etanol e açúcar; a demanda de carne bovina, carne suína, carne de frango e ovos; a demanda de leite e derivados; a oferta e produção nacional de cada produto; a produção de milho, soja, farelo e óleo de soja, algodão, arroz, feijão, açúcar e etanol; a alocação de área plantada; alocação de área de grãos, milho, soja, algodão, arroz e feijão; a oferta de carne bovina; as projeções de rebanho, abate e peso médio no abate da bovinocultura; a área de pastagens; a oferta de carne suína; e a oferta de carne de frango e ovos. A Tabela 4 apresenta a série de dados de uso do solo para os produtos cobertos pelo modelo BLUM; e a Tabela 5 sintetiza as fontes de dados e informações utilizadas pelo ICONE no modelo de uso do solo.

Tabela 4: Brasil - Área alocada e produção dos produtos cobertos pelo Modelo BLUM

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

Fonte: IBGE; CONAB; UFMG/ICONE/EMBRAPA. Nota: n.a. = não aplicável.

Tabela 5: Fontes de dados

Fonte	Dados utilizados	Referência
Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE	Rebanho bovino, rebanho suíno, abate de aves, suínos e bovinos. Estimativa de população	www.ibge.gov.br
Companhia Nacional do Abastecimento - CONAB	Área plantada, área colhida, preços, custos, quadro de suprimentos (balanço de oferta e demanda).	www.conab.gov.br
Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias - Embrapa	Preços e produção de suínos e aves	www.embrapa.gov.br
Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio - MDIC	Dados de comércio internacional	www.mdic.gov.br
Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA	Dados macroeconômicos do Brasil e do setor agropecuário	www.ipeadata.gov.br
Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada - CEPEA	Acompanhamento de preços e custos	www.cepea.esalq.usp.br
Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES	Dados de crédito e investimentos no setor sucroalcooleiro	www.bndes.gov.br
Agroconsult	Custos e produtividades das lavouras, usinas de cana-de-açúcar	www.agroconsult.com.br (Fábio Meneghin)
Scot Consultoria	Estratificação do rebanho bovino, abate de bovinos, preços e rentabilidades da pecuária	www.scotconsultoria.com.br (Maurício de Palma Nogueira)
União da Indústria de Cana-de-Açúcar - UNICA	Mercado de açúcar e álcool	www.unica.com.br
Associação Nacional dos Fabricados de Veículos Automotores - ANFAVEA	Vendas anuais de veículos por tipo de combustível, curva de sucateamento	www.anfavea.com.br
Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP	Preços de gasolina, diesel, mercado de energia	www.anp.gov.br
Food and Agricultural Policy Research Institute - FAPRI	Dados macroeconômicos internacionais e modelagem	www.fapri.org
Instituto Rio Grandense do Arroz - IRGA	Mercado de arroz	www.irga.rs.gov.br
Associação Brasileira das Indústrias de Milho - Abimilho	Mercado de milho	www.abimilho.org.br
Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais - ABIOVE	Mercado de soja	www.abiove.gov.br
Sindicato Nacional das Indústrias de Alimentação Animal - Sindirações	Mercado de alimentação animal	www.sindiracoes.org.br
Leite Brasil	Dados da pecuária leiteira	www.leitebrasil.org.br
União Brasileira de Avicultura - UBA	Dados da avicultura	www.uba.org.br
Associação Brasileira da Indústria Produtora e Exportadora de Carne Suína - ABIPECS	Dados da suinocultura	www.abipecs.org.br
Empresa de Pesquisa Energética - EPE	Dados do PNE - exportação e consumo de etanol, demanda de biodiesel de soja, PIB Brasil e PIB Mundial e preço do petróleo.	www.epe.gov.br

Fonte: ICONE

Projeções Macroeconômicas: As projeções de uso da terra estão fundamentadas em um cenário macroeconômico, que fornece as tendências de PIB Mundial, PIB Brasil, população brasileira, inflação, taxa de câmbio e preço do petróleo, para um horizonte de 22 anos: 2009 a 2030. Para o Cenário de Referência, as projeções de PIB, preço do petróleo e taxa de câmbio referem-se ao cenário B1, “Surfando a Marola”, do Plano Nacional de Energia 2030 (PNE-2030). Segundo as projeções do PNE, o Brasil deverá crescer 3,7% entre 2009 e 2020, aumentando para 4,5% de 2021 a 2030. A taxa de crescimento do PIB mundial será de 3% ao ano para todo o período projetado. Para a projeção de população do Brasil foram utilizadas as projeções do Instituto Brasileiro de Estatística (IBGE). O cenário macroeconômico considerado é importante, uma vez que são componentes das equações de demanda e de custo. A Tabela 6 sintetiza o cenário macroeconômico utilizado para os anos de 2006, 2008, 2018 e 2030.

Tabela 6: Projeções macroeconômicas

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

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

2.1.2.3 Alocação de área para as atividades agropecuárias

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

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

A estrutura das equações de alocação de área para pastagens foi feita de forma diferente em relação às de grãos e de cana-de-açúcar. A quantidade de área alocada para pastagens em cada região é obtida em função das áreas das outras culturas (e não das rentabilidades esperadas) e da evolução estimada do rebanho. Esta opção foi escolhida após várias tentativas para estimar área de pastagens. Como existem vários níveis tecnológicos e sistemas de produção, a alocação de área com base na rentabilidade da pecuária não apresentou resultados satisfatórios, optando-se por estimar as áreas de pastagens conforme descrito acima. Além disso, como não existe uma série temporal histórica para área de pastagens no Brasil, o ICONE montou uma série histórica baseada na série anual de rebanho bovino por região (IBGE, 2008b) e, então, foi projetada a área em função das variáveis mencionadas acima, sendo este modelo também inovador neste aspecto.

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

Para especificar as variáveis explicativas das equações de uso da terra para cada produto e região, que determinam a alocação de terra por produto em cada uma das seis regiões, foi desenvolvida uma matriz de competição por terra, descrita na Tabela 7. Esta matriz foi definida a partir de critérios de aptidão agrícola (EMBRAPA, 2008a; EMBRAPA, 2008b; NIPE/CGEE, 2005) e das tendências das áreas plantadas observadas entre 1997 e 2008 (CONAB, 2008; IBGE 2008a). A área de cada cultura responde à sua própria rentabilidade esperada e às rentabilidades esperadas das culturas competidoras (via elasticidades cruzadas). Vale ressaltar que os retornos históricos também indicam as atividades que são tomadoras e as que são doadoras de área no modelo de competição por terra. A pecuária, por exemplo, tem se mostrado historicamente como uma atividade doadora de terra em todas as regiões, ou seja, pode-se assumir que as áreas de lavouras competem com as áreas de pastagens, mas não o contrário.

Tabela 7: Matriz de competição por terra em regiões brasileiras

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

Fonte: ICONE

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

É importante também ressaltar a colinearidade observada entre as séries históricas de rentabilidade de algumas culturas como, por exemplo, as culturas de soja e de milho. Este fato levou à necessidade de exclusão de uma dessas variáveis ou da criação de uma nova variável nas equações de uso da terra para determinadas regiões. Em particular, para as equações regionais de projeção de área de cana-de-açúcar foi necessário excluir

a rentabilidade da soja como variável explicativa. Já no caso da estimativa de área de pastagens, optou-se por somar as áreas de soja e milho, formando uma nova variável explicativa do módulo de uso da terra.

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

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

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

Além disso, o grande volume de áreas de pastagens no Brasil, muitas delas apresentando produtividade relativamente baixa, representa uma área potencial para a expansão da agricultura. Nesse sentido, a pecuária possui uma capacidade de expandir a produção usando melhores índices zootécnicos e melhorias na qualidade das pastagens e, ao mesmo tempo, reduzir a área utilizada. Considerando ainda que esta mudança é mais realista em termos tecnológicos do que no caso das lavouras,

a expansão deve ocorrer sobre a área de pastagens. Ou seja, segundo a teoria microeconômica, considerando, de maneira simplificada, uma árvore tecnológica que contenha apenas os fatores capital e terra, uma vez que a pecuária usa relativamente muita terra e pouco capital, uma pequena variação (aumento) do fator capital irá provocar uma mudança (redução) mais do que proporcional no uso do fator terra³². Adicionalmente, ao optar pela melhoria da produtividade da pecuária, estamos trabalhando sobre a Fronteira de Possibilidades de Produção (FPP) existente, diferentemente dos grãos, onde seria necessário assumir inovações tecnológicas ainda não disponíveis, que deslocariam a FPP. Assim, justifica-se a preferência por canalizar grande parte dos ganhos de produtividade sobre a pecuária bovina no Brasil.

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

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

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

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

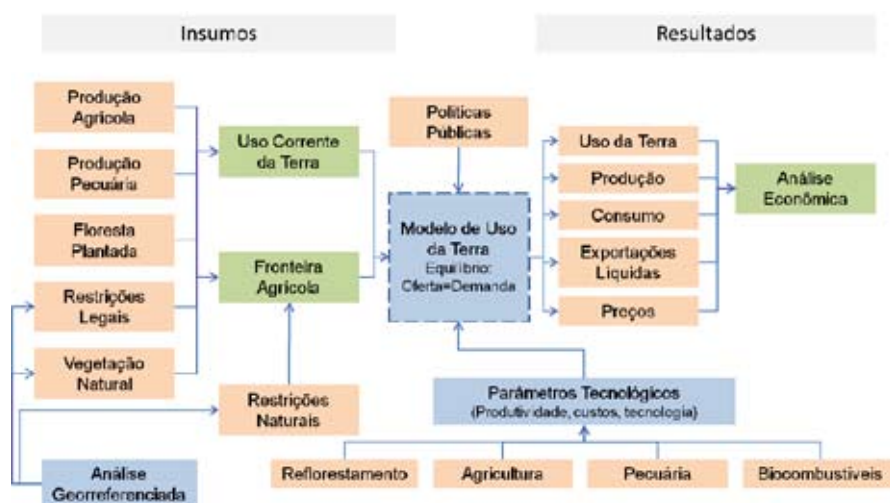
Um resultado importante do modelo se refere à área total utilizada pelas atividades agrosilvopastoris (considerando os produtos selecionados nesta análise). Se esta área aumentar ao longo do tempo, ocorre a conversão de vegetação nativa em área produtiva. Este excedente na alocação de área pode ser explicado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

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

sendo efeito indireto; e (b) expansão das culturas na fronteira agrícola, a qual é efeito direto.

Além da competição por terra, existem interações entre os setores analisados, assim como entre um produto e seus subprodutos. Por exemplo, entre os setores de carnes e grãos, a demanda por rações provenientes da oferta de carnes, leite e ovos (milho e farelo de soja, basicamente) é um dos componentes da demanda doméstica de milho e soja. No caso do complexo da soja, o farelo e o óleo são componentes da demanda por soja em grão, a qual é determinada através da margem de esmagamento. De forma similar, etanol e açúcar são componentes da demanda por cana-de-açúcar. O diagrama metodológico ilustrado abaixo (Figura 4) resume a dinâmica do modelo de uso do solo desenvolvido para este estudo.

Figura 4: Diagrama metodológico do modelo de uso do solo.



Fonte: ICONE

Como mencionado anteriormente, os resultados obtidos no modelo (nas seis grandes regiões) foram desagregados para as microrregiões do IBGE. O critério de desagregação tem como base o histórico de área plantada para cada produto selecionado e considera os dados de restrição de terra disponível para a expansão das atividades produtivas.

2.1.3 Cenário de Referência para o uso do solo

O Cenário de Referência foi desenvolvido a partir do Modelo BLUM de projeções de uso do solo, considerando um padrão de expansão da agropecuária brasileira conforme observado no passado. Assim, para esse cenário, não existem choques exógenos sobre nenhuma variável considerada no modelo. O Cenário de Referência serve como base de comparação com relação aos cenários alternativos que consideram um padrão de expansão dos setores agropecuários, energéticos e de transportes com menores níveis de emissão de gases de efeito estufa (Cenários de Baixo Carbono).

Deve-se ressaltar que a demanda de etanol e biodiesel, assim como as exportações líquidas de etanol são exógenas ao modelo. O cenário de consumo desses energéticos foi extraído do Plano Nacional de Energia 2030 (PNE - 2030), produzido pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) durante o ano de 2006 e concluído em abril de 2007 (Brasil, 2007). Dada a disponibilidade de dados mais recentes durante o desenvolvimento do presente projeto, os valores projetados no PNE foram atualizados até a safra de 2008, sendo dessa data em diante adotada a variação projetada no PNE 2030. Os estoques de etanol e a produção de etanol são endógenos ao modelo (veja seção 3.2).

De acordo com o PNE 2030 o consumo interno de etanol cresce significativamente ao longo do período, partindo de 12,8 bilhões de litros em 2006 para 59,2 bilhões de litros de etanol em 2030. Já as exportações atingem um máximo de 15,8 bilhões de litros em 2020, declinando para o patamar de 13 bilhões de litros em 2030. No caso do biodiesel, segundo o cenário do PNE 2030 e partindo do valor observado em 2007, o consumo de diesel aumentará aproximadamente em 228%, saindo de 42.784 mil toneladas em 2007 para 97.876 mil toneladas em 2030. Além disso, a porcentagem mínima de mistura de biodiesel no óleo diesel parte de 2% em 2008 e atingirá 12% em 2030. Já a participação da soja na produção de biodiesel deverá ser reduzida de 88% em 2008 para 35% em 2035. O resultado desse cenário é uma produção de biodiesel de soja de 802,9 mil toneladas em 2008, que aumentará para 4.133 mil toneladas em 2030.

A alocação de terras para florestas plantadas é determinada exogenamente ao modelo e representa uma restrição ao crescimento das demais culturas. A área total ocupada por tais florestas baseia-se nas projeções contidas no PNE, que informa a área total ocupada por eucalipto, *Pinus* e demais madeiras tropicais para todo o Brasil em 2010, 2015, 2020 e 2030. Para calcular a área ano a ano, foi considerado um crescimento constante entre os períodos. A partir da série histórica (1997-2007) de área ocupada pelas florestas plantadas em cada região, a projeção brasileira foi dividida entre as regiões. Considerou-se tanto a participação de cada região no total do Brasil como o histórico de crescimento de tal participação.

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

Tabela 8: Projeção de áreas ocupadas por florestas de produção (em milhares de hectares)

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

Fonte: PNE, ICONE

No Cenário de Referência a área disponível para expansão da agricultura foi considerada como sendo os pastos passíveis de serem convertidos, assim como as áreas de vegetação remanescente. Foram apenas considerados os pastos e a vegetação remanescente sem impedimentos, de acordo com a classificação da UFMG, isto é, sem impedimentos legais (UCs e TIs) ou com declividades acentuadas ou solos impróprios. Assim, observa-se que o impedimento legal das Áreas de Preservação Permanente (APP) e Reserva Legal (RL) não foram levados em consideração.

Foram produzidos resultados das projeções gerais de uso do solo em cada grande região do Modelo BLUM para agricultura, pastagens e florestas de produção no Cenário de Referência. Embora as projeções de oferta e demanda não sejam aqui apresentadas, é importante salientar que elas fazem parte dos dados de saída do modelo e são determinantes da alocação total de terra no Brasil para cada atividade. Conforme mostra a Tabela 9, a demanda por área no Brasil projetada para o ano de 2018, considerando os produtos analisados, será de 263,2 milhões de hectares. Ou seja, haverá um aumento de 1,7% em relação aos 259,3 milhões de hectares utilizados para os mesmos produtos em 2006. Para 2030 este incremento é mais expressivo, havendo um crescimento de 6,5% na área agrícola total em relação a 2006 e alcançando 276,1 milhões de hectares. Assim, verifica-se que entre 2006 e 2030 houve uma expansão de 16,9 milhões de hectares da área ocupada pela agropecuária, proveniente de conversão de vegetação nativa. O Norte Amazônia apresenta o maior crescimento do período, de 24%.

Tabela 9: Uso produtivo da terra (culturas, pasto e florestas) nas diferentes regiões e no Brasil (em milhares de hectares)

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

Fonte: ICONE

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

A redução da área de pasto em 2030 veio acompanhada de um incremento no rebanho bovino de 13,9%, neste mesmo período. Isso indica que haverá um ganho de produtividade do setor de 14,9%, passando de 0,99 para 1,13 cabeças por hectare. A maior parte desse crescimento de rebanho se dará no Norte Amazônia, onde aumentará

em um total de 20,7 milhões de cabeças acompanhado por um incremento na área de pastagens de 12,1 milhões de hectares (Tabela 10).

Tabela 10: Uso do solo (em milhares de hectares) nas seis regiões do modelo para o Cenário de Referência

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

Fonte: ICONE

Pode-se analisar o crescimento da área produtiva na fronteira agrícola como decorrente de dois fenômenos distintos, porém interligados. Primeiramente, existe crescimento significativo do rebanho na fronteira, devido à sua estabilização nas regiões tradicionais e à demanda crescente por carne. No Norte Amazônia e no MAPITO e Bahia, espera-se um crescimento entre 2006 e 2030 de 44% e 13% do rebanho, respectivamente. Esse fato pode ser considerado como um efeito indireto do crescimento das demais culturas, que ocuparam áreas de pasto nas regiões do Centro-Sul do Brasil. Além disso, observou-se um impacto nas fronteiras, decorrente do próprio crescimento das culturas, mais acentuado em termos proporcionais no MAPITO e Bahia do que no Norte Amazônia, onde a expansão do pasto é muito mais importante. No MAPITO e Bahia houve crescimento de 1 e 1,2 milhão de hectares de soja e cana-de-açúcar, respectivamente, entre 2006 e 2030. Já no Norte Amazônia, o crescimento da soja no mesmo período foi de 1,6 milhão de hectares, enquanto as pastagens cresceram 12 milhões de hectares (Tabela 10).

Enquanto a pecuária bovina se intensifica e reduz área de pastagens no Centro-Oeste Cerrado em 2,8 milhões de hectares entre 2006 e 2030, a soja e a cana-de-açúcar são as lavouras que deverão demandar maiores contingentes de área nesta região, expandindo em 1,8 e 1,1 milhão de hectares, respectivamente. Isso indica que grande parte do crescimento das áreas das culturas ocorrerá sobre as pastagens. Também merece destaque o aumento da área destinada ao milho segunda safra, que cresceu 1,3 milhão de hectares entre 2006 e 2030. Apesar de não impactar a competição por terra, esse crescimento é muito importante, pois significa aumento na produção total de milho e, assim, menor necessidade de área de milho de primeira safra (Tabela 10).

O mesmo fato pode ser observado no Sudeste, porém em proporções distintas. Essa é a região onde o crescimento da área de cana-de-açúcar é mais expressivo, saltando de 3,9 milhões de hectares em 2006 para 7,1 milhões de hectares em 2030. Por outro

lado, a variação de área utilizada para as demais culturas não são muito expressivas, corroborando com o pressuposto de que esta região se aproxima do limite de expansão da área utilizada para a agricultura. As áreas de pastagens no Sudeste apresentarão uma redução de 4,5 milhões de hectares, com uma queda do rebanho bovino de 2,9 milhões de cabeças, ainda indicando um ganho de produtividade da pecuária nessa região. É importante ressaltar que a região Sudeste é a segunda região mais importante na pecuária leiteira e que o rebanho de vacas leiteiras se apresentou praticamente estável (Tabela 10 e Tabela 11), mas houve um aumento na produção de 6,7 milhões de toneladas de leite. A produção de carne da região também cresceu no período, em 221 mil toneladas. Assim, a redução do rebanho não significou perda na capacidade de produção, mas sim melhores níveis tecnológicos da mesma.

Tabela 11: Rebanho de vacas leiteiras (em milhares de cabeças) - Cenário de Referência

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

Fonte: ICONE

Na Região Sul, as pastagens cairão 4,9 milhões de hectares entre 2006 e 2030, enquanto o rebanho permanecerá praticamente constante. Observa-se forte crescimento da cultura da soja e de florestas de produção: 3,1 e 1,1 milhões de hectares, respectivamente, no mesmo período (Tabela 10). Assim, o Sul mantém sua elevada participação na produção de soja e florestas de produção no país, com uma área agrosilvopastoril total aproximadamente constante.

A região Nordeste Litorâneo apresentou apenas pequenas variações no uso da terra no período considerado. Florestas de produção representaram o maior crescimento de área – 310 mil hectares entre 2006 e 2030; seguido de cana-de-açúcar – 235 mil hectares; e milho – 204 mil hectares (Tabela 10). Isto significa que a região também está praticamente no limite da ocupação de terras, principalmente devido às restrições edafo-climáticas que impedem o uso produtivo de grande parte de suas áreas.

É importante entender como interpretar o fenômeno da estabilização do rebanho nas regiões do Centro-Sul e a expansão deste nas regiões de fronteira. As projeções para o Cenário de Referência basicamente replicam, em linhas gerais, as tendências observadas de 1996 a 2008, período de tempo para o qual foram levantados os dados de rebanho, agricultura e florestas de produção. O que se observou nesse período é que o grande determinante da expansão das áreas de pastagens na região Norte Amazônia é a expansão do rebanho bovino. Essa expansão se deu de forma consistente de 1996 a 2006, sendo que, de 2006 a 2008, o rebanho em todas as regiões caiu, como

resultado de um incremento na taxa de abate por conta do forte crescimento das exportações de carne, sem um correspondente ganho significativo de eficiência nos índices zootécnicos, tais como a taxa de reposição e a diminuição da idade de abate. Além de não ter sido identificadas melhorias significativas nos índices zootécnicos, os baixos preços dos animais observados na primeira metade dos anos 2000 levaram os pecuaristas a vender matrizes de corte para abate, reduzindo a capacidade de reposição do rebanho e pressionando ainda mais os preços para baixo.

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

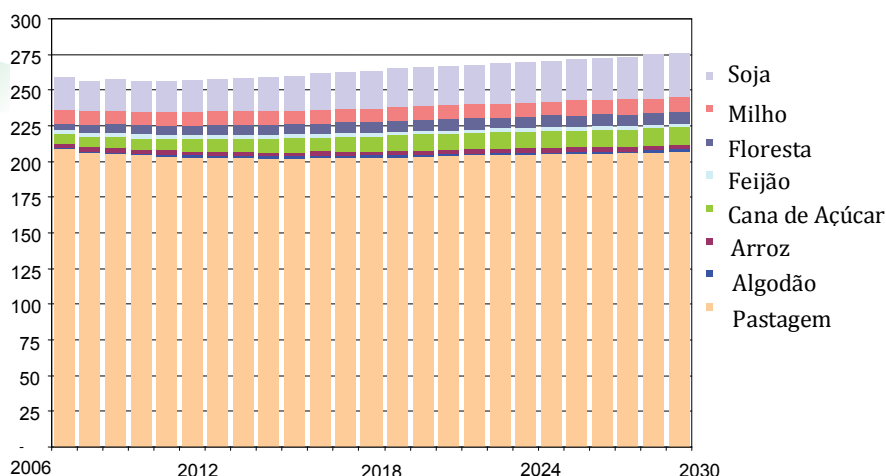
As variações na demanda por terra das demais culturas (milho, milho safrinha, feijão primeira e segunda safras, arroz e algodão) não serão tão expressivas quanto as observadas nas culturas de soja, cana-de-açúcar e pecuária. De acordo com os resultados apresentados na Tabela 12 e na Figura 5 a área de milho primeira safra deve crescer, entre 2006 e 2030, 660 mil hectares. No entanto, a área da segunda safra, nesse mesmo período, crescerá 2,3 milhões de hectares, sendo que grande parte deste incremento se dará nas regiões Centro-Oeste Cerrado e Sul.

Tabela 12: Uso do solo (em milhares de hectares) para o Brasil – Cenário de Referência

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

Fonte: ICONE

Figura 5: Evolução da demanda por terra no Brasil, por cultivo no Cenário de Referência - 2006-30 (Milhões de ha)



O avanço observado na área de milho de primeira e segunda safra pode ser explicado, em sua maior parte, pelo aumento da demanda de rações, a qual por sua vez foi impulsionada por um crescimento da produção de carne suína e de frango, que aumentaram 79% e 66%, respectivamente, no período analisado. Já a área de feijão primeira safra cairá 0,3 milhão de hectares, somando à queda de 0,2 milhão de hectares da segunda safra de feijão. No entanto, a produção de feijão no Brasil deverá aumentar de 3,5 para 4,9 milhões de toneladas entre 2006 e 2030, devido ao aumento de produtividade esperado no período (Tabela 12).

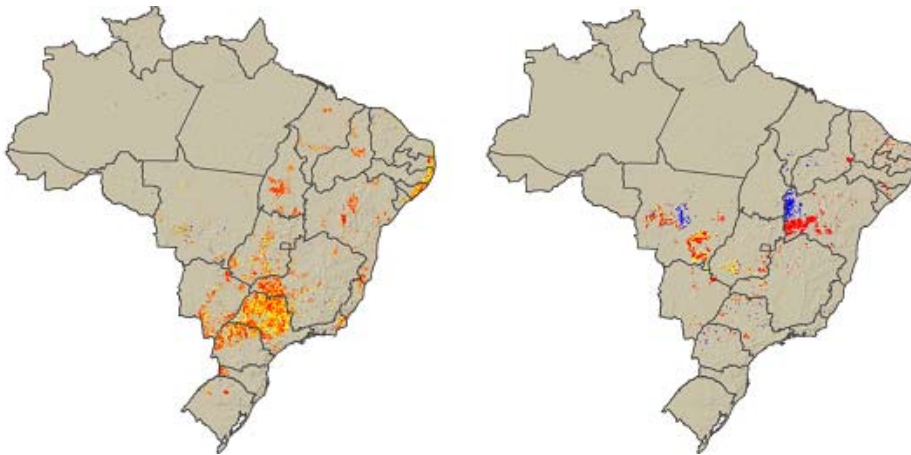
É importante ressaltar que o Modelo BLUM de uso do solo projeta a produtividade como uma tendência no tempo. Para o Cenário de Referência foram considerados ganhos de produtividade de acordo com o padrão observado no passado. Assim, as produtividades cresceram, em média, entre 0,69 e 2,10% ao ano para as culturas consideradas. As florestas de produção, de acordo com as estimativas exógenas do PNE, ocuparão uma área de 8,5 milhões de hectares em 2030, representando um crescimento de pouco mais de 3 milhões de hectares em relação a 2006. A maior parte deste crescimento ocorre na Região Sul – cerca de 1,2 milhão de hectares (Tabela 12), reproduzindo a tendência de expansão observada no passado.

Para interpretação dos resultados foram elaborados mapas representando incrementos e decrementos para cada uma das culturas modeladas ao longo do período estudado: cana-de-açúcar, algodão, arroz, feijão, silvicultura, milho, soja, pastagem. Notou-se uma expansão destacada da cana no país, que se dá principalmente para o noroeste do Paraná, Goiás, centro-oeste paulista (onde há na realidade uma intensificação dessa cultura), Triângulo mineiro, porção central do Tocantins, Mato Grosso do Sul, e litoral do nordeste (onde, assim como para São Paulo, ocorre uma intensificação). Outras manchas de expansão também ocorrem no estado da Bahia, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Piauí, Maranhão, Mato Grosso. Ou seja, a cultura da cana está se

expandindo para todos os estados com aptidão agrícola (Mapa 2).

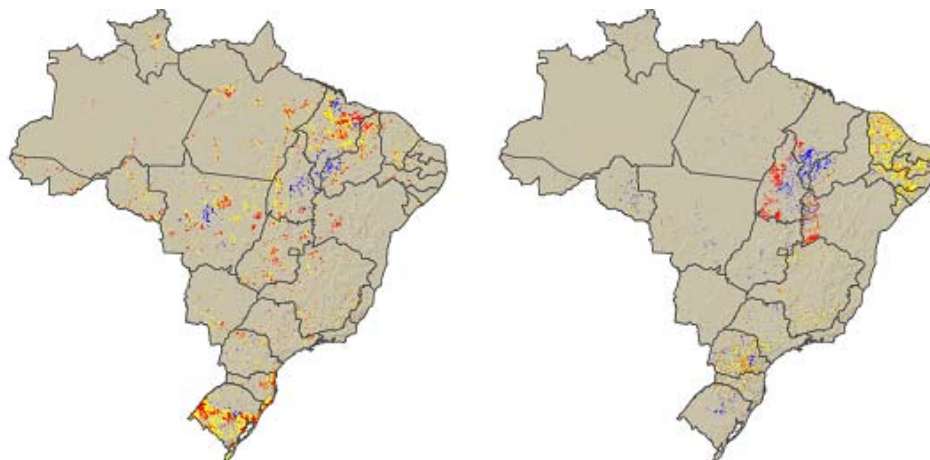
O algodão (Mapa 2) apresenta elevado dinamismo espacial. As áreas que tiveram seu cultivo constante entre 2010 e 2030 se concentram no sudeste do estado do Mato Grosso. Já com relação à expansão do cultivo, é possível perceber áreas extensas no sudoeste da Bahia e sudeste do Mato Grosso. Finalmente, percebem-se manchas de retração do algodão no oeste da Bahia e no estado do Mato Grosso. De fato, a evolução da demanda por terra para a cultura de algodão não é constante, mas oscilante. Quando a demanda decresceu, as áreas originalmente cobertas por algodão cederam terra para a pastagem e provavelmente para outras culturas ao longo da simulação.

Mapa 2: Dinâmica das áreas da cultura de cana-de-açúcar (esquerda) e algodão (direita) no Cenário de Referência (2010-2030). Amarelo = permaneceu constante; azul = retração; vermelho = expansão



Quanto ao arroz (Mapa 3), as manchas se distribuem de maneira mais esparsa, em ocorrências menos concentradas. O cultivo se mantém constante em manchas identificáveis principalmente nos estados do Rio Grande do Sul, Maranhão, Santa Catarina, Mato Grosso, Piauí e Pará e se expande nesses mesmos estados (nas áreas mais próximas dos locais onde já ocorria), e também na Bahia (onde praticamente não ocorria). Há também manchas de recuo, em uma pequena porção do estado do Rio Grande do Sul, Mato Grosso, Tocantins, Maranhão e Piauí. O dinamismo espacial se deve a alterações na demanda por microrregião, uma vez que, de maneira global, a demanda nacional se mantém praticamente constante.

Mapa 3: Dinâmica das áreas de cultivo de arroz (esquerda) e feijão (direita) para o Cenário de Referência (2010-2030). Amarelo = permaneceu constante; azul = retração; vermelho = expansão

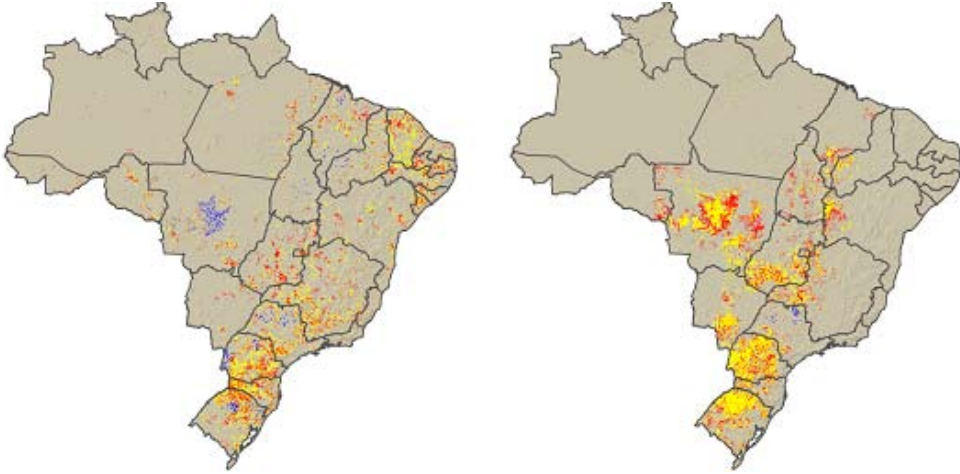


As áreas em que houve maior estabilidade ao longo do período do estudo em questão são as do cultivo do feijão (Mapa 3) nos estados do nordeste (Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Sergipe e Alagoas), onde também é possível perceber pequenas manchas de expansão. Já para os estados do Maranhão, Piauí, Tocantins e Bahia, percebe-se basicamente manchas de expansão e de retração do cultivo, com destaque para a expansão no estado do Tocantins. O estado do Paraná também merece destaque por apresentar ocorrências do cultivo e manchas de retração e expansão.

A cultura do milho (Mapa 4) apresenta ampla distribuição no território e, na maioria dos estados ou permaneceu estável ou se expandiu, exceto para o estado do Mato Grosso, onde se percebe também uma mancha mais destacada de recuo da área de cultivo original.

A soja (Mapa 4) representa um dos cultivos mais expressivos em termos de área no Brasil, se destacando nos estados da região Sul, região Centro-sul, Triângulo mineiro e em porções dos estados de Bahia, Piauí e Maranhão, sendo que a sua tendência para o Cenário de Referência é de demanda crescente. Dessa forma, praticamente não ocorrem manchas de recuo do cultivo, mas predominam manchas de expansão, algumas delas indicando uma intensificação da cultura em regiões lindeiras à Amazônia.

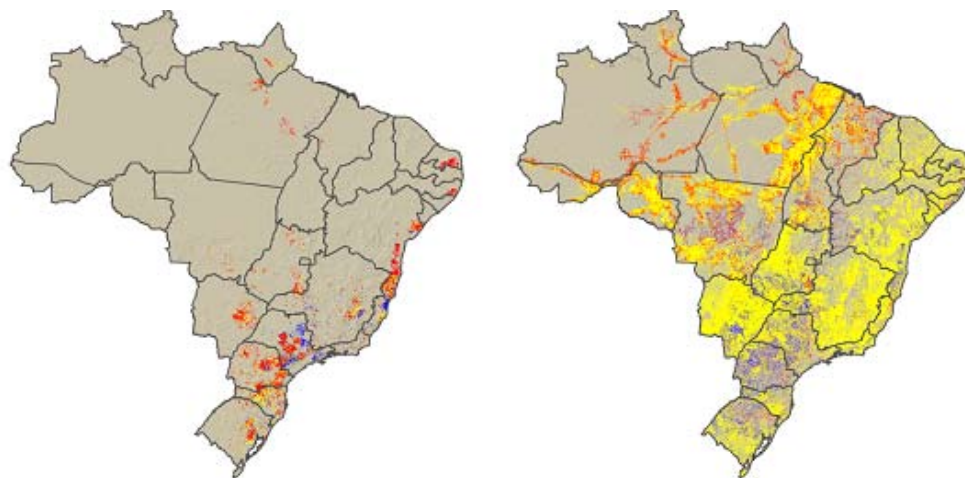
Mapa 4: Dinâmica das áreas de cultivo de milho (esquerda) e soja (direita) para o Cenário de Referência (2010-2030). Amarelo = permaneceu constante; azul = retração; vermelho = expansão



A silvicultura, que ocorre originalmente nos estados das regiões sul, sudeste, nordeste e também no Pará e Amapá, se manteve relativamente constante entre os dois momentos: 2010 e 2030. As manchas que indicam avanço da cultura se encontram distribuídas de forma esparsa no território e, com relação ao recuo, o estado de São Paulo ganha destaque na sua porção Centro-Norte (Mapa 5).

As áreas de pastagem (Mapa 5) consistem num aspecto importante no modelo de simulação uma vez que toma parte nas três transições possíveis que esse realiza (vegetação nativa > pastagem; pastagem > culturas; ou culturas > pastagem). De modo geral, é possível perceber que no Centro-Sul do Brasil ocorre um avanço limitado das pastagens, devido à concorrência direta com a agricultura, sempre com demanda crescente a partir das pastagens. As áreas em que as pastagens permanecem mais estáveis são os estados de Minas Gerais (exceto região do Triângulo), Bahia (exceto sua porção oeste), Ceará, Rio de Janeiro, parte do Rio Grande do Sul, grande parte do Mato Grosso do Sul e nos estados de Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Paraíba. Por outro lado, na Amazônia há um avanço destacado das áreas de pasto, principalmente através do desmatamento.

Mapa 5: Dinâmica das áreas de floresta de produção (esquerda) e pastagem (direita) para o Cenário de Referência (2010-2030). Amarelo = permaneceu constante; azul = retração; vermelho = expansão



2.1.3.1 Desagregação em microrregiões geográficas

Os resultados de alocação de área obtidos para o Cenário de Referência e de Baixo Carbono em cada uma das seis grandes regiões foram espacializados para o nível de microrregiões do IBGE a fim de identificar as regiões mais dinâmicas que determinam, em parte, a localização da futura expansão das atividades agropecuárias. O critério utilizado foi o histórico do crescimento de cada cultura e a área disponível para uso agrícola. No caso da cana-de-açúcar, como a logística é a maior restrição neste setor (impondo um limite na distância entre usinas e canaviais), as localizações das usinas em operação, usinas em construção e usinas em projeto determinaram a espacialização da produção de cana-de-açúcar por microrregião ao longo do tempo. Já o histórico da área com florestas produtivas foi obtido a partir de uma aproximação dos dados de produção da silvicultura provenientes do IBGE (IBGE, 2008c). A área disponível para agricultura foi estimada pela UFMG e incluiu as pastagens passíveis de conversão, ou seja, aquelas em áreas sem impedimento (legal e/ou com declive acentuado e solos impróprios³³). Somente no caso do Cenário de Referência foram também consideradas como disponíveis para agropecuária as áreas de vegetação remanescente sem impedimento.

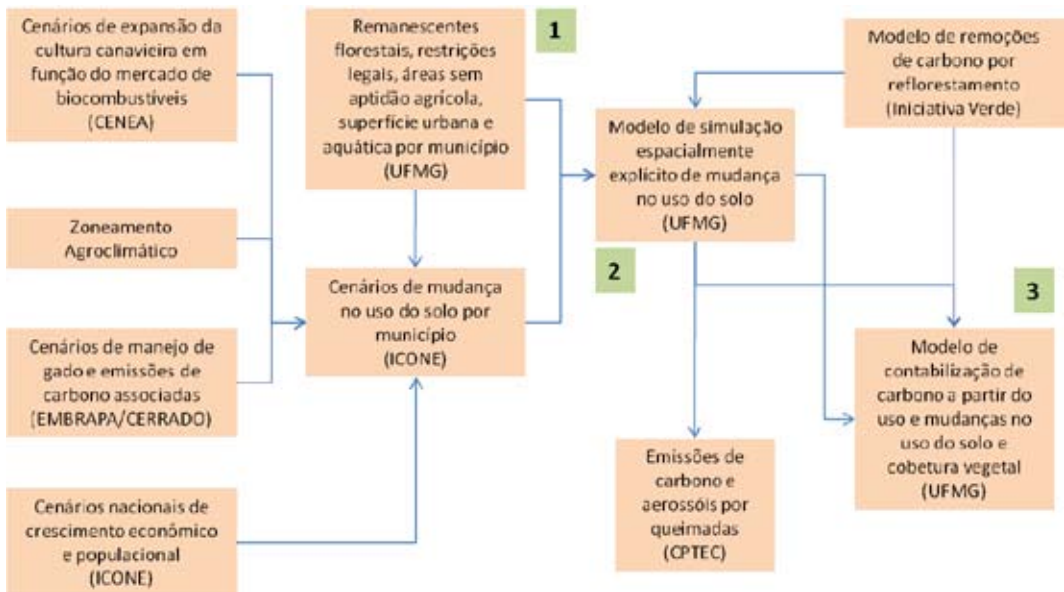
Foi desenvolvido um critério de priorização dos diferentes usos, variando conforme a região, mas sempre considerando a cana-de-açúcar como primeira – devido à sua localização entre as microrregiões ser mais precisa – seguida das demais culturas em diferentes ordens, florestas de produção e, por fim,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

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

2.1.3.2 Espacialização das mudanças do uso do solo e do desmatamento: Modelo SIMBRASIL

Para avaliar as emissões resultantes do desmatamento foi construído um modelo nacional de espacialização do uso e mudanças no uso do solo (SIMBRASIL) e a contabilidade de suas emissões de CO₂. Para o Cenário de Referência considerou-se, no que diz respeito ao desmatamento, uma conjuntura que deu continuidade às tendências e dinâmicas de expansão das culturas agrícolas e outros usos do solo no Brasil, independente das consequências dessas sobre o desmatamento que, sem limitações, ultrapassaria a barreira da legalidade (gerando passivos ambientais). Esse cenário foi utilizado como base para a construção do Cenário de Baixo Carbono, no qual se insere essa preocupação, e objetiva, portanto, uma redução do desmatamento através da diminuição das demandas por terra para expansão agrícola e pecuária, e que por definição não poderia gerar desmatamentos além da barreira legal. Através da redução do desmatamento, bem como da recuperação de passivos ambientais pelo restauro florestal, haverá, portanto uma redução das emissões de GEE no Cenário de Baixo Carbono quando comparado ao Cenário de Referência. A elaboração do modelo espacialmente explícito de mudanças no uso do solo e desmatamento e do modelo de emissões de carbono decorrentes de tais conversões envolveu três etapas, como descrito na Figura 6, e levou em consideração a sua compatibilidade com o modelo BLUM.

Figura 6: Arquitetura do estudo LULUCF, destacando os componentes que incluem o fator desmatamento, a cargo da UFMG



Após o cálculo das áreas disponíveis para expansão agropecuária e de florestas de produção, foi desenvolvido um modelo espacialmente explícito de mudanças no uso e cobertura do solo (SIMBRASIL – disponível para consulta através do endereço www.crs.ufmg.br/simbrasil). Esse modelo tem por objetivo espacializar, usando uma célula de 1km², as projeções de expansão agrícola e demanda por terras em nível de microrregião modeladas pelo ICONTE para o Brasil como um todo (Modelo BLUM) para os dois Cenários em questão: o de Referência e o de Baixo Carbono. A primeira parte da elaboração desse modelo passou pela compilação e montagem da base de dados (Figura 7). Essa base envolve as variáveis listadas na Tabela 13.

Figura 7: Exemplo de base de dados preparada para as simulações de mudança de uso e cobertura do solo

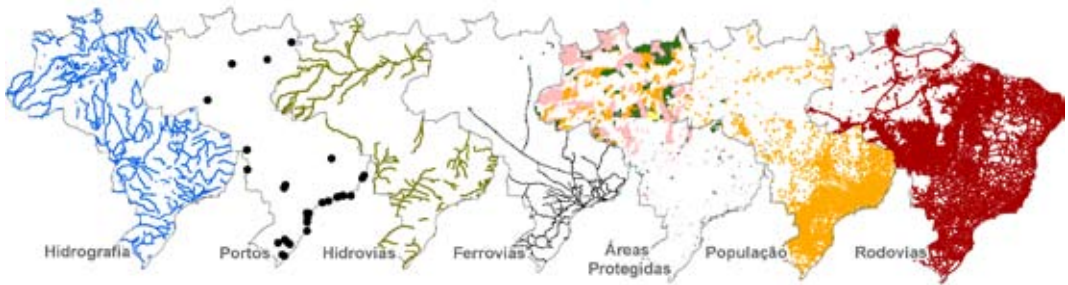


Tabela 13: Descrição da base desenvolvida para implementação do SIMBRASIL

Variável	Descrição
<i>Hidrografia</i>	Principais Rios Permanentes (MMA);
<i>Declividade</i>	Shuttle Radar Topography Mission – NASA corrigidos pela EMBRAPA;
<i>Elevação</i>	Shuttle Radar Topography Mission – NASA corrigidos pela EMBRAPA;
<i>Áreas Aptas</i>	Obtidas na etapa anterior do estudo;
<i>Cobertura Vegetal e Uso da Terra</i>	Obtidas na etapa anterior do estudo;
<i>Infraestrutura</i>	Portos, Hidrovias, Ferrovias (Ministério dos Transportes);
<i>Rodovias</i>	Diferenciadas em duas classes: Pavimentadas e Não Pavimentadas (Ministério dos Transportes; CSR);
<i>Áreas Protegidas</i>	Englobam as UCs Federais e Estaduais, em seus dois usos: proteção integral e uso sustentável e Terras Indígenas e Áreas Militares (MMA, IBAMA, CSR)
<i>População</i>	Dados de população urbana por sede municipal (IBGE, Censo Demográfico - 2000)

Todos os dados supracitados foram rasterizados a uma resolução espacial de 1 km²,

o equivalente a matrizes de 4500x4500 células. Ao lado dos dados espaciais, o modelo incorpora as tabelas de projeção dos usos do solo fornecidas pelo BLUM para uma cesta de culturas (cana-de-açúcar, soja, milho, algodão, arroz e feijão), floresta de produção e pastagens. Portanto, para cada microrregião, é passado por ano um vetor de distribuição de terras em cada um dos usos especificados e o modelo busca então alocar essa distribuição, tendo como base a aptidão agrícola do solo para cada cultura modelada e fatores de custo de produção estimados por *proxis* de infraestrutura e mercado consumidor.

O modelo estruturado foi implementado na plataforma DINÂMICA EGO (Quadro 1), sendo concebido para operar a passos de tempo anuais em dois níveis espaciais: microrregiões do IBGE e células raster de 1 km².

Quadro 1: Dinâmica EGO (*Environment for Geoprocessing Objects*)

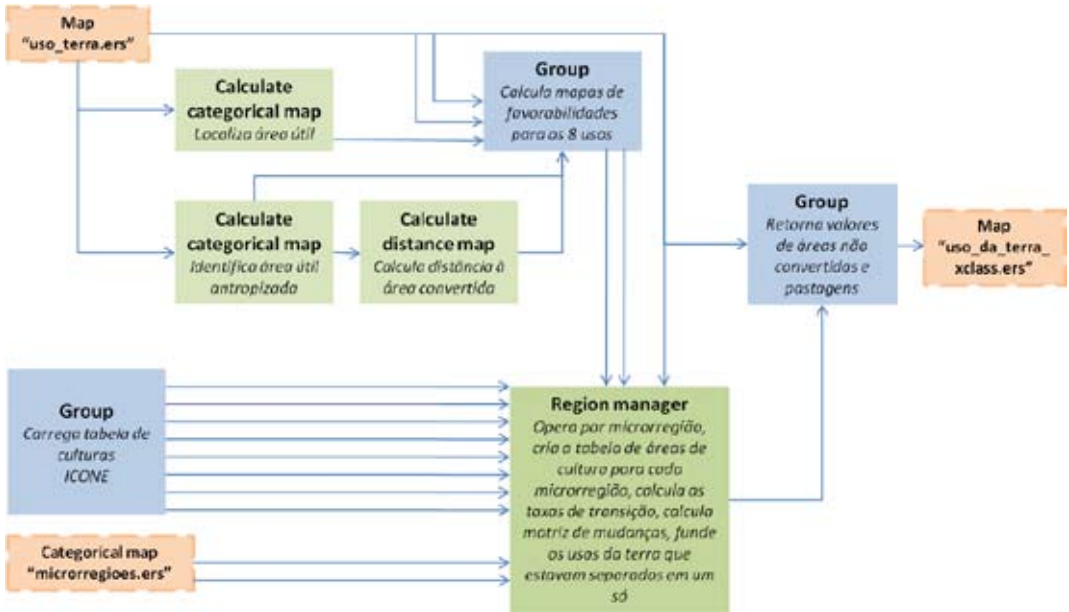
O modelo de simulação espacialmente explícito foi implementado sobre a plataforma do Dinâmica EGO (Dinamica – Environment for Geoprocessing Objects), software livre que consiste em uma plataforma de modelagem ambiental. Através dessa plataforma - que vem sendo desenvolvida por pesquisadores da Universidade Federal de Minas Gerais desde 1998 (*Soares-Filho et al, 2009*) - é possível desenvolver uma gama diversa de modelos espaço-temporais que demandam operações analíticas e/ ou operações dinâmicas complexas, como iterações em rede, *feedbacks*, abordagens multi-escalares, álgebra de mapas e a aplicação de uma série de complexos algoritmos para a análise e simulação de fenômenos no tempo e espaço.

Escrito em linguagem C++ e Java, o software possui uma biblioteca de operadores chamados de *functores* (*functors*), que podem ser entendidos como um processo que atua sobre um conjunto de dados de entrada, sobre o qual é aplicado um número finito de operações, produzindo como saída um novo conjunto de dados (Rodrigues et al., 2007). Atualmente, estão implementados os operadores de análise espacial mais comuns nos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), além de uma série de outros, criados especificamente para simulações espaciais, incluindo funções de transição e métodos de calibração e validação.

O software (atualmente em sua versão 1.2.3. disponível em www.csr.ufmg/dinamica) possui como vantagem a flexibilidade, ou seja, permite ao usuário construir modelos através do encadeamento de *functores* que, sequenciados, estabelecem um fluxo de dados em forma de um gráfico. Através da interface gráfica do Dinâmica EGO, é possível criar modelos, simplesmente arrastando e conectando os operadores através de suas entradas e saídas (*ports*), às quais representam as conexões com determinados tipos de dados, como mapas, tabelas, matrizes, expressões matemáticas e constantes. Os modelos criados assumem, portanto, um aspecto de diagrama, cuja execução segue uma cadeia de fluxo de dados. No que diz respeito ao estudo em questão, três modelos principais foram desenvolvidos através do software: cálculo de terras disponíveis para expansão, simulação das mudanças no uso do solo e emissões de carbono pelo uso e mudança no uso do solo.

A execução do modelo de simulação espacialmente explícito de uso e mudança no uso do solo envolveu a elaboração de dois submodelos. O primeiro (Figura 8), tem como função principal produzir um mapa base de uso do solo, alocando terras para as classes de culturas do BLUM (cana, soja, milho, algodão, arroz, feijão), mais floresta de produção e pastagens. Esse modelo possui como entradas o mapa de uso do solo, o mapa de microrregiões e as tabelas de demanda por terra para cada cultura produzidas pelo ICONE para o BLUM. Primeiramente, o modelo identifica a área útil antropizada de acordo com o mapa de uso do solo original, ou seja, as áreas passíveis de expansão agrícola. Em seguida o modelo calcula os mapas de favorabilidade espacial para essa expansão, integrando dados de aptidão agrícola (Assad e Pinto, 2008) e critérios proximais como distância de estradas, atratividade urbana, custo de deslocamento aos portos, declividade, distância à área convertida.

Figura 8: Primeira parte do modelo espacialmente explícito de mudanças no uso e cobertura do solo - alocação de terras

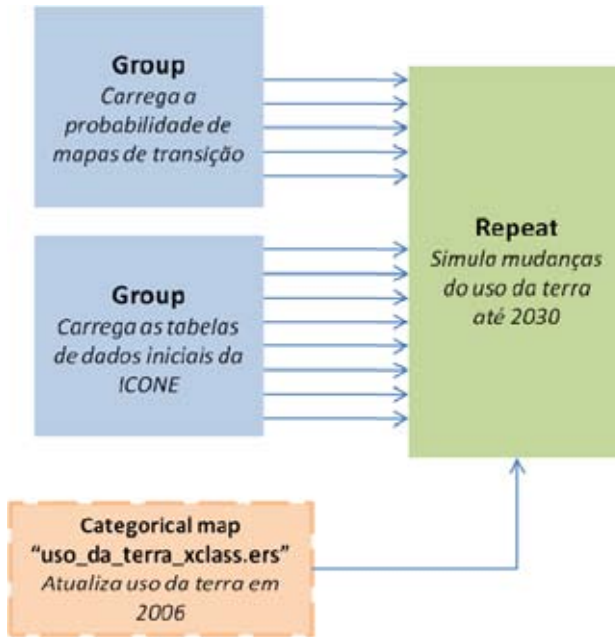


Em seguida, o modelo calcula as taxas de transição para as culturas e reflorestamento, dividindo as áreas projetadas por ano pela área de pastagem apta. Caso a área de pastagem não seja suficiente, o modelo converte áreas de vegetação nativa e capoeiras em áreas de pastagens. Se há uma redução de um cultivo agrícola em uma microrregião, o modelo retorna essa área para o estoque de pastagens. Portanto, o modelo sempre usa a classe de pastagem como um estoque temporário entre as transições de floresta, de pastagem e de culturas. A alocação espacial utiliza um mecanismo de autômato celular, visando criar manchas na paisagem (Soares-Filho et al., 2002). Ainda, caso o modelo não tenha sucesso em um passo de tempo em alocar as áreas projetadas pelo BLUM em uma determinada microrregião, esse resíduo é passado às microrregiões vizinhas, por um processo de iteração por vizinhança, num

passo de tempo seguinte, gerando, portanto, a melhor aproximação possível em termo de áreas com as projeções do BLUM.

Na segunda parte, o mapa de uso da terra de 2006, atualizado, é utilizado como entrada principal. Outras entradas consistem no mapa de microrregiões; mapas de probabilidades de transição calculados anteriormente por modelos complementares³⁴; e as tabelas preparadas para o BLUM. O modelo de simulação está resumido na Figura 9.

Figura 9: Modelo espacialmente explícito de mudanças no uso e cobertura do solo - simulação da mudança no uso do solo



O modelo de simulação das mudanças no uso do solo em questão ainda interage *online* com o modelo que projeta o desmatamento para a Amazônia (Soares-Filho *et al.*, 2008), o qual usa como entrada a demanda por terra para pecuária e agricultura modelada pelo BLUM. Esse modelo visa incorporar as causas indiretas do desmatamento além da conversão direta por demandas de terra para cultivo e pastagem.

Para o estudo, o modelo de projeção do desmatamento utiliza três variáveis, fixadas em valores constantes para a avaliação dos dois cenários: taxas de migração regionais, áreas protegidas e infraestrutura (i.e. estradas pavimentadas e não pavimentadas); além de outras duas variáveis que modelam a pressão da expansão agrícola: a taxa de expansão das áreas ocupadas por culturas e a taxa de crescimento do rebanho bovino, de acordo com as projeções do BLUM para os dois cenários em questão. Possui como entradas o mapa de microrregiões e tabelas da extensão de áreas protegidas, da área de floresta original, das culturas e do número de cabeças do rebanho bovino fornecidas pelo BLUM, além de tabelas de densidade média de estradas por microrregião.

34 São quatro os mapas de probabilidade de transição ao todo: Probabilidade de conversão para culturas (conjunto de 6 mapas + 1 para floresta plantada, Probabilidade de conversão para pastagens, Probabilidade de retorno e Probabilidade de restauro.

2.1.4 Cálculo das Emissões associadas ao Uso do Solo, Mudanças do Uso do Solo e Desmatamento no Cenário de Referência

Tendo definido o tamanho econômico e territorial das atividades agropecuárias e a suas localizações, se torna agora possível de calcular as emissões de gases de efeito estufa associadas a estas atividades. Esta seção apresenta na sequência as emissões da pecuária e as emissões agrícolas. As emissões do desmatamento e as remoções associadas à área florestal são apresentadas nas próximas seções.

2.1.4.1 Emissões da Pecuária

O Brasil é um dos principais atores do mercado mundial de carne bovina. De acordo com o USDA (2008), em 2008, o Brasil respondeu por 15,5% da produção mundial de carne bovina (59,3 milhões de toneladas de equivalente carcaça) e por 24,9% das exportações (7,7 milhões de toneladas de equivalente carcaça).

A quase totalidade da produção brasileira vem de rebanhos mantidos em sistemas pastoris. A expressiva dimensão do rebanho bovino nacional – cerca de 200 milhões de cabeças – e a igualmente significativa área de pastagens (mais de 170 milhões de ha) ocupada pela atividade de pecuária têm suscitado dúvidas quanto aos potenciais impactos ambientais da pecuária bovina de corte brasileira. Soma-se a isso o fato de que quanto mais baixo o desempenho dos animais e maior o tempo para o abate, maiores serão as emissões de metano por tonelada de carne produzida.

No caso brasileiro, a emissão relaciona-se predominantemente ao subsetor de pecuária de corte. De acordo com a Comunicação nacional inicial do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima (MCT, 2004) e o primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa (MCT, 2006) as emissões totais de metano provenientes de fermentação entérica no país foram estimadas em 8,8 Mt, para o ano de 1990, e as provenientes dos sistemas de manejo de dejetos animais, estimadas em 0,3 Mt, totalizando 9,1 Mt. Em 1994, as emissões de metano provenientes da pecuária foram estimadas em 9,8 Mt, sendo que 9,4 Mt foram atribuídos à fermentação entérica e 0,4 Mt aos sistemas de manejo de dejetos animais. Somente as emissões anuais referentes à fermentação entérica representaram 92% do total de emissões de metano do setor Agropecuário. Em 1994, a categoria de bovinos de corte foi responsável por 81% das emissões de metano provenientes da pecuária no Brasil, a categoria de gado de leite contribuiu com 13% e as demais categorias de animais com 6% das emissões. O aumento de aproximadamente 7% nas emissões do setor no período 1990-1994 foi devido, predominantemente, ao aumento do rebanho de gado de corte.

A bovinocultura brasileira é predominantemente conduzida em sistemas pastoris extensivos com taxa de lotação e desempenho animal muito abaixo do potencial (IBGE, 1998). Esses fatos implicam na possibilidade de redução das emissões pelo uso de sistemas de produção mais tecnificados (e.g. sistema confinado, integração lavoura-pecuária e confinamento) que promovam elevação do desempenho animal e, conseqüentemente, uma menor emissão de CH_4 e N_2O por unidade de produto. Além disso, a adoção de sistemas de produção mais intensivos repercutiria em redução

da demanda por terra pela pecuária, possibilitando a ocupação de terra por outras atividades agropecuárias sem que haja a necessidade de abertura de novas áreas. Também é importante considerar que a recuperação de áreas de baixa produtividade (degradadas) pode representar importante dreno de CO_2 por meio do aumento dos estoques de carbono na matéria orgânica do solo, uma vez que pastagens produtivas tendem a apresentar níveis mais elevados de C no solo (Guo; Gifford, 2002; Cerri et al., 2003).

Uma projeção das emissões diretas pela bovinocultura brasileira foi feita por Barioni et al. (2007). A estimativa considera um moderado processo de ganho de produtividade no período 2007-2025 e aponta para um ganho de eficiência suficiente para contrabalançar a maior produção necessária para atender à demanda.

Os gases de efeito estufa comumente associados à atividade pecuária são o gás carbônico (CO_2), o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O) (IPCC, 2006). Todavia, a emissão de CO_2 pela respiração animal geralmente é ignorada, baseada no pressuposto que este carbono derivou-se da fotossíntese e, portanto, representa apenas um retorno à atmosfera. Já o CH_4 , produzido pela fermentação entérica e do esterco, e o N_2O liberado pela nitrificação/desnitrificação do nitrogênio excretado, representam fontes de emissão líquida. Estas moléculas assumem maior importância pelo seus maiores potenciais de aquecimento global, sendo, estes, 21 e 310 vezes maiores que o CO_2 para o CH_4 e o N_2O , respectivamente.

É sabido que a fermentação anaeróbica produz CH_4 , processo necessário para a eliminação do excesso de hidrogênio, na ausência de oxigênio (Van Soest, 1994). A redução de carbono para produzir o CH_4 é realizado por uma subpopulação de microorganismos chamados de bactérias metanogênicas. O crescimento e a abundância destas bactérias no ambiente ruminal são favorecidos pela presença de fibra de degradação lenta, e inibidos pela presença de amido e seu produto final, ácido lático, com a queda concomitante de pH. Em geral, quanto mais fibroso o alimento (para um determinado nível de ingestão), maior a quantidade de CH_4 emitida e quanto maiores os teores de proteína (e maior a excreção de nitrogênio), maiores as emissões de óxido nitroso. Quanto mais elevada a ingestão de alimentos, mais elevadas as emissões diárias de CH_4 e N_2O para uma determinada dieta. Óleos e gorduras também reduzem substancialmente a produção de metano. Desta maneira, a dieta também pode influenciar a produção de CH_4 , com a proporção da energia da dieta perdida nesta forma sendo inversamente proporcional à qualidade, particularmente à densidade energética da dieta.

O ruminante excreta nitrogênio nas fezes e na urina. Ambas as vias de excreção incluem um componente endógeno (do próprio animal), e um componente alimentar (sendo o N da dieta que não é utilizado pelo animal). De modo geral, a excreção de N pode ser estimada como a diferença entre o consumo de N e a sua retenção em tecidos corporais. Por exemplo, um animal de 300 kg consumindo 7 kg de matéria seca/dia contendo 10% de proteína bruta (N x 6,25) consome 0,112 kg N/dia. Se este animal estiver ganhando 0,9 kg/dia, com um ganho contendo 20% de proteína, a retenção seria de 0,029 kg N/dia, ou seja, este animal estaria excretando 0,083 kg N/dia. A proporção deste N na excreta, que é convertido para N_2O , varia, dependendo do sistema de manejo do esterco e das condições ambientais. Em sistemas de manejo de esterco líquido (em lagoas, por exemplo), a fermentação é anaeróbica e há uma produção significativa de

CH₄ e de N₂O, aumentando estas com a temperatura ambiental. Já no sistema de manejo sólido, e mais ainda com a deposição direta pelo animal na pastagem, ocorre uma degradação aeróbica, com uma produção muito menor desses gases. Neste caso, que reflete melhor a situação brasileira, entre 0,1 e 0,3% do N do esterco é convertido em N₂O (Loyon et al., 2008).

2.1.4.1.1 Metodologia

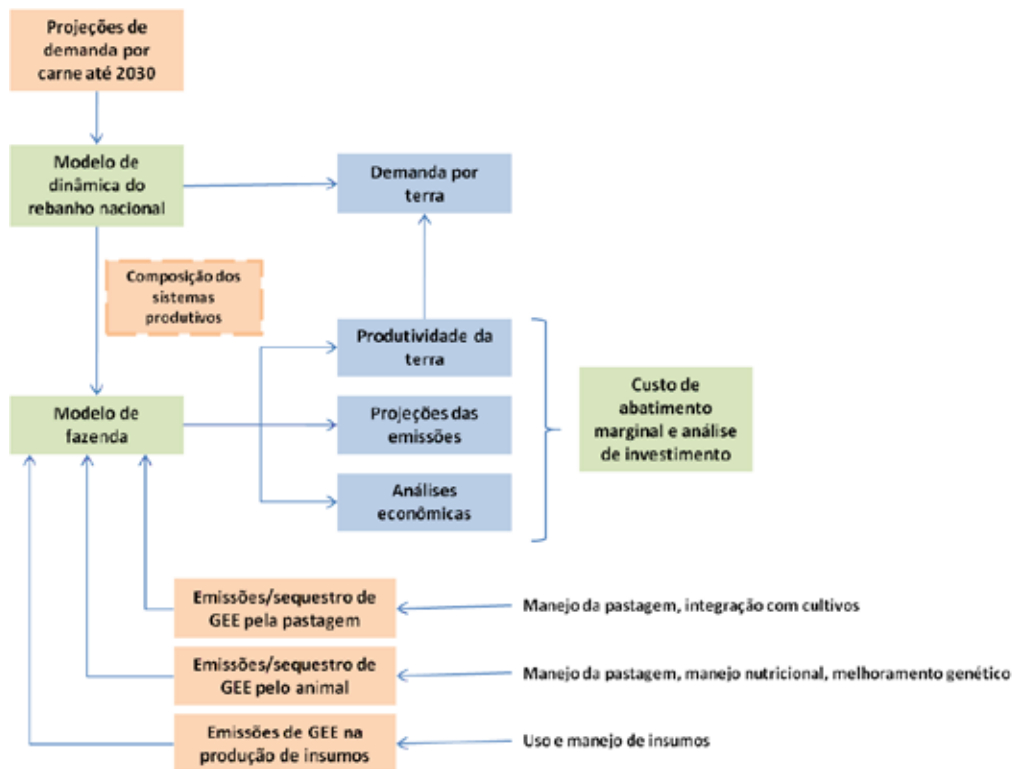
Para a modelagem da emissão de gases de efeito estufa neste estudo adotou-se a premissa de que a produção e, conseqüentemente, o rebanho, são limitados pela demanda de carne no nível nacional. Nessa abordagem, as alternativas de mitigação que repercutem em aumento da produtividade do rebanho resultam em redução do número de animais para uma demanda determinada exogenamente. No presente estudo, a estimativa foi fornecida pela consultoria ICONE.

As emissões de metano e óxido nitroso por ruminantes são, basicamente, função da quantidade de alimento ingerido e da qualidade da dieta. Entretanto, de forma geral, o aumento da ingestão repercute em aumento do desempenho animal, gerando consistente redução nas emissões de metano por unidade de produto por encurtar o ciclo de vida dos animais ou diminuir o número de matrizes necessárias para a produção de animais para o abate.

Em pastagens tropicais, predominantes no Brasil, a maior produtividade dos animais está associada a um maior consumo de alimentos e à maior qualidade desses alimentos. Essas condições estão proporcionadas por sistemas de produção melhorados. Diante dos atuais níveis de produtividade, o Brasil possui oportunidade ímpar para aumentar a produtividade do rebanho por meio da adoção de diferentes sistemas produtivos. Assim, as análises para projeção e identificação das alternativas de mitigação das emissões consideraram fazendas prototípicas com diferentes sistemas produtivos, os quais refletem diferentes níveis de intensificação do uso da terra e da produtividade animal. A cada um dos sistemas produtivos são atribuídos índices característicos de produtividade, composição do rebanho, estrutura de investimento e fluxos de caixa.

Para determinar a composição do rebanho nacional e proporção dos sistemas produtivos adotou-se uma abordagem considerando estimativas exógenas, fornecidas pela ICONE, com relação ao nível de equilíbrio de produção e demanda de carne bovina. Esses dados foram utilizados para projetar o rebanho necessário para atender à demanda de acordo com o nível de produtividade projetado (em função da composição de sistemas produtivos). As estimativas das áreas disponíveis de pastagens produzidas por um modelo de competição econômica pelo uso da terra também foram utilizados como dados de entrada para a projeção do nível de produtividade por área (produção em equilíbrio/área de pastagens). Nessa abordagem, as alternativas de mitigação que repercutem em aumento da produtividade do rebanho resultam em redução do número de animais, e não em aumento da produção total. A Figura 10 apresenta um diagrama da abordagem utilizada.

Figura 10: Fluxos de informação no modelo analítico deste estudo



Para estimar a quantidade de alimento ingerido e a emissão de metano é necessário determinar-se o peso dos animais, o estágio fisiológico, a raça e o desempenho (ganho de peso, taxas de natalidade e produção de leite). Como as características dos animais são heterogêneas no rebanho, é boa prática categorizar o rebanho e calcular emissões para cada uma das categorias e calcular a ingestão e as emissões para cada categoria (IPCC, 2006). A categorização do rebanho possibilita, ainda, atribuir dietas distintas a cada categoria, como é prática corrente nas fazendas, e computar a produtividade do rebanho, o que é necessário para estimar o número de animais e composição do rebanho. Considerando a predominância do rebanho de corte e a utilização das vacas de leite para geração de animais para posterior abate, a produção média de leite foi ajustada para considerar o rebanho leiteiro nacional.

No modelo de análise elaborado para este estudo, o rebanho foi dividido em 9 categorias de animais para o cálculo de emissões de metano e óxido nitroso e para a determinação dos custos de produção em cada sistema produtivo.

Tabela 14: Categorias de animais consideradas nas análises de emissões pela pecuária

Categoria	Variável	Idade mínima (In)	Idade máxima (Ix)
Vacas	F_0		
Touros	M_0		
Bezerras até 1 ano	F_1	0	12
Novilhas de 1 a 2 anos	F_2	12	24
Novilhas de 2 a 3 anos	F_3	24	36
Bezerros (até 1 ano)	M_1	0	12
Garrotes de 1 a 2 anos	M_2	12	24
Garrotes de 2 a 3 anos	M_3	24	36
Garrotes com mais de 3 anos	M_4	36	-

A composição do rebanho, ou seja, a proporção do número de animais em cada categoria é calculada a partir dos índices zootécnicos do sistema produtivo simulado. A proporção de animais com o rebanho em equilíbrio dinâmico é calculada pelas Equações 1 a 7, com base nos índices de desempenho zootécnico atribuídos ao sistema produtivo.

O número de nascimentos é calculado pelas Equações 1 e 2, em função do número de vacas, da taxa de natalidade e mortalidade das novilhas em crescimento.

$$N = F_0 * \alpha * (1 + \omega p * \alpha / 2) \quad (1)$$

$$\omega = \prod_i (1 - ((\omega_i t(F_i)) / 12)), t(F_i) > 0, i=1...3 \quad (2)$$

Onde N é o número de nascimentos, α é a taxa de natalidade (adimensional), ωp é a taxa de mortalidade até o primeiro parto (adimensional), $\omega_i \omega_i$ é a mortalidade de cada categoria, para bezerras e novilhas (adimensional), e; $t(F_i)$ é o tempo de permanência dos animais na categoria até o primeiro parto (meses).

O tempo de permanência na categoria é calculado distintamente para machos e fêmeas pelas Equações 3 e 4.

$$t(M_i) = \max(Ix(M_i) - \beta a, 12) \quad (3)$$

$$t(F_i) = \max(Ix(F_i) - \beta p, 12) \quad (4)$$

Onde Ix é a idade máxima (meses) dos animais em cada categoria e βp e βa são, respectivamente, as idades ao primeiro parto e ao abate (meses) definidas para o sistema.

Para o cálculo do número de bezerros e bezerras, assume-se a proporção de 50% para machos e fêmeas e taxa de mortalidade constante ω_0 ao longo do ano (Equação 5).

$$F_1, M_1 = 0.5 * N * (1 - \omega_0 / 2) \quad (5)$$

As quantidades de animais nas categorias em crescimento (F_i , M_i) são, então, calculadas com base na quantidade de animais da categoria de idade imediatamente inferior e do mesmo sexo e da taxa de mortalidade da categoria (Equações 6 e 7).

$$F_{i+1} = F_i \cdot (1 - \omega_i t(F_i)/12) \quad (6)$$

$$M_{i+1} = M_i \cdot (1 - \omega_i t(M_i)/12) \quad (7)$$

Finalmente, o número de touros é calculado com base na relação touro/fêmea (θ) definida para o sistema em questão, de acordo com a Equação 8.

$$M_0 = F_0 * (1 + \omega_p * \alpha/2)/\theta \quad (8)$$

O número de fêmeas e machos abatidos (AF e AM, respectivamente) são calculados segundo as Equações 9 e 10.

$$AF = \frac{F_0}{2} * (1 - R) * \alpha * \left(1 + \omega_p * \frac{\alpha}{2}\right) * \prod_i (1 - \omega_i t(F_{ia})) \quad (9)$$

$$AM = \frac{N}{2} \prod_i (1 - \omega_i t(M_{ia})) \quad (10)$$

A produção de carcaça (PC) é então calculada pela Equação 11.

$$PC = AF * CEF + AM * CEM \quad (11)$$

Onde CEF e CEM são, respectivamente, o peso de carcaça no abate de machos e fêmeas, obtidos a partir da pesquisa trimestral de abate do IBGE³⁵ e projetado pela ICONE.

Cálculo das emissões de CH₄ e N₂O

Para cada cenário, foram aplicados modelos em três níveis, de acordo com as recomendações do IPCC (2006). O modelo do Nível 1 segue exatamente as recomendações, aplicando o fator de 56 kg CH₄/ano para cada animal após a desmama, mais 1 kg CH₄/ano pelo esterco; bem como o fator de 0,36 kg N excretado /dia, juntamente com a sua taxa de conversão em N₂O (0,2%; Loyon et al., 2008). Para o Nível 2, é calculada a distribuição dos animais nas diversas categorias do rebanho: vacas, bezerras, novilhas de 1 a 2 anos, novilhas de 2 a 3 anos, bezerros, garrotes de 1 a 2 anos, garrotes de 2 a 3 anos, garrotes com mais de 3 anos, e touros, como descrito anteriormente. Então, o desempenho de cada categoria em cada sistema de produção é definido baseado em dados publicados (FNP, 2008).

A partir do peso e ganho de peso, são estimadas as exigências de energia líquida para manutenção (ELm):

$$ELm = Cfi * (Peso)^{0.75} (PV)^{0.75} \quad (12)$$

onde PV = peso vivo (kg), Cfi = um coeficiente que varia de acordo com a categoria animal, MJ day⁻¹ kg⁻¹ (0,386 para vacas lactantes, 0,370 para touros, e 0,322 para outras

35 Disponível em <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo2.asp?ti=1&tf=99999&e=v&p=AT&z=t&o=22>. Acesso em 23/02/2009 17:38.

categorias). Ademais, há equações para ajuste da Elm para a atividade de locomoção, acrescentando nada para animais estabulados; 17% para animais em pasto abundante, piquetes pequenos, e topografia plana; e 36% para animais em pasto deficiente, piquetes grandes, e topografia acidentada.

As exigências de energia líquida para o ganho (ELg) são calculadas baseado no peso e ganho de peso:

$$ELg = 22,02 * (\text{Peso}/(C * \text{Peso Adulto}))^{0,75} * \text{ganho}/\text{dia}^{1,097} (\text{Pv}/(C * \text{Pva}))^{0,75} * \text{GPD}^{1,097} \quad (13)$$

Onde PV = peso vivo adulto (kg), GPD = ganho de peso diário (kg/dia), e C = um coeficiente com valores de 0,8 para fêmeas, 1,0 para novilhos castrados and 1,2 for machos inteiros (NRC, 2000).

Para vacas em lactação, as exigências de energia líquida para a lactação (ELl) são calculadas baseadas na produção de leite e o seu teor de gordura (NRC, 1989):

$$ELl = L * (1,47 + 0,40 * G) \quad (14)$$

Onde L é a produção de leite (kg/dia) e G é a proporção de gordura do leite (%).

Para vacas em gestação, as exigências de energia líquida para a gestação (ELp) são calculadas baseadas na exigência de manutenção:

$$ELp = 0,10 * ELm \quad (15)$$

As composições (digestibilidade e teor de proteína bruta) das dietas para cada categoria são definidas de acordo com valores comumente observados. Os valores de energia digestível (ED, %) são convertidos em ELm e ELg:

$$ELm/ED = [1,123 - 0,004092 * ED + 0,00001126 * ED^2 - 25, (4/ED)] \quad (16)$$

e

$$ELg/ED = [1,164 - 0,005160 * ED + 0,00001308 * ED^2 - 37, (4/ED)] \quad (17)$$

A ingestão de matéria seca (IMS, kg/dia) para animais em crescimento e engorda é calculada baseada no peso vivo e a energia líquida para manutenção e atividade da dieta:

$$IMS = \text{Peso}^{0,75} \text{PV}^{0,75} \times \left[\frac{(0,244 * ELma - 0,0111 * ELma^2 - 0,472)}{ELma} \right] \quad (18)$$

$$IMS = \text{Peso}^{0,75} \text{PV}^{0,75} * \left[\frac{(0,0119 * ELma^2 - 0,1938)}{ELma} \right] \quad (19)$$

Baseado nesse conjunto de equações, é possível estimar a ingestão de energia bruta (IEB) de cada categoria animal:

$$IEB = IMS * 18,45 \quad IEB = IMS * 18,45 \quad (20)$$

Para o cálculo de emissão de CH₄ pela fermentação entérica, aplica-se o fator (Y_m) preconizado pelo IPCC (2006) para animais consumindo dietas baixas em ED (6,5%) ou altas em grão e ED (3,0%):

$$CH_4 = IEB * Y_m \quad CH_4 = IEB * Y_m \quad (21)$$

Além da fermentação entérica, existem as emissões de CH₄ e N₂O pelo esterco dos animais. Para o CH₄, continua o mesmo fator de 1 kg CH₄•animal⁻¹•ano⁻¹. Para a emissão de N₂O, a excreção de N (EN) é calculada a partir da IMS, o teor de proteína bruta da dieta, e a sua digestibilidade, bem como a excreção endógena de nitrogênio:

$$EN = \left[(IMS * PB * (1 - D)) + \frac{0,0038 * PV^{0,75}}{6}, 25 \right] \quad (22)$$

A produção N₂O é calculada da mesma forma que no Nível 1, usando a taxa de conversão de 0,2% (Loyon et al., 2008):

$$N_2O = 0,002 * EN \quad (23)$$

Os cálculos do Nível 3 são similares ao Nível 2, exceto que as equações e coeficientes são mais específicos para as condições brasileiras. Por exemplo, o valor de Cfi é reduzido em 10%, considerando a menor exigência de manutenção do gado zebuino. Ademais, a equação de ingestão inclui as exigências de manutenção, lactação, gestação e ganho:

$$IMS = \frac{ELg}{ELg(\text{dieta})} + \frac{ELm + ELl + ELp}{ELm(\text{dieta})} \quad (24)$$

A partir da ED, são calculados os teores de fibra em detergente neutro (FDN) e lignina (Lig) da dieta, baseados em dados do NRC (2000):

$$FDA = 137,39 - 1,0467 * ED \quad (25)$$

$$Lig = 18,32 - 0,185 * ED \quad (26)$$

Estes valores são utilizados para estimar a emissão de CH₄ pela fermentação entérica, usando a equação (27) proposta por Ellis et al. (2006):

$$\text{CH}_4 = 3,69 + (0,543 \times \text{IMS}) + (0,698 \times \text{FDN} \times \text{IMS}) - (3,26 \times \text{Lig} \times \text{IMS}) \quad (27)$$

As emissões de CH₄ e N₂O pelo esterco são iguais ao Nível 2.

Determinado o efetivo de cada um dos sistemas produtivos no rebanho nacional ao longo do tempo, as emissões de CH₄ e N₂O foram então computadas como a soma das emissões geradas pelo efetivo de cada um dos sistemas produtivos.

Estimação das emissões pelos sistemas prototípicos

Para considerar a heterogeneidade de sistemas produtivos e a possibilidade de mitigação das emissões pela alteração na adoção de diferentes tipos de sistemas produtivos, fazendas “prototípicas” foram definidas, admitindo os seguintes sistemas em ciclo completo (cria, cria e engorda):

1. Ciclo completo em pastagens degradadas
2. Ciclo completo em pastagens extensivas
3. Cria extensiva em pastagens + cria suplementada e engorda em Integração Lavoura-Pecuária
4. Cria extensiva em pastagens + cria suplementada e engorda em Confinamento

Para cada uma das fazendas prototípicas, foram atribuídos índices zootécnicos típicos para os sistemas produtivos simulados (Tabela 15). A produtividade das fazendas prototípicas (representando cada classe de sistema produtivo) foi então calculada com base nesses índices por meio das Equações 1 a 11.

Tabela 15: Coeficientes zootécnicos considerados para cada sistema produtivo

	Ciclo completo em pastagens degradadas	Ciclo completo em pastagens extensivas	Cria extensiva + recria suplementada e engorda em Integração Lavoura-Pecuária	Cria extensiva + recria suplementada e engorda em Confinamento
Digestibilidade da dieta na cria	56,0	62,0	62,0	62,0
Digestibilidade da dieta na recria	58,0	60,0	60,0	60,0
Digestibilidade da dieta na engorda	58,0	60,0	62,0	72,0
Produção de Leite	1100	1400	1400	1400
Período de lactação	7	7	7	7
Taxa de natalidade	55%	60%	75%	75%
Mortalidade até 1 ano	7%	5%	5%	5%
Mortalidade de 1 a 2 anos	2%	2%	2%	2%
Mortalidade de 2 a 3 anos	2%	1%	1%	1%
Mortalidade acima de 3 anos	1%	1%	1%	1%
Tx. de descarte de vacas	15%	15%	15%	15%
Peso vacas adultas	420	420	420	420
Relação touro/fêmea	30	30	30	30
Peso carcaça macho	230	250	250	265
Peso carcaça fêmea	200	200	200	200
Idade ao 1º parto	36	30	30	30
Rendimento carcaça machos	52%	52%	52%	52%
Rendimento carcaça fêmeas	50%	50%	50%	50%
Peso ao nascer	30	32	32	32
Peso à desmama machos	160	185	185	185
Peso início engorda	379	379	379	379
Ganho de peso na recria	0,25	0,30	0,40	0,40
Ganho de peso na engorda	0,40	0,60	0,60	1,20

Uma vez que as emissões de CH_4 e N_2O neste estudo são calculadas em função do sistema produtivo, assume-se que a magnitude das emissões de CH_4 e N_2O depende do sistema e não da região onde o sistema é instalado. As proporções dos sistemas produtivos foram atribuídas no âmbito nacional.

Como pode ser visto na Tabela 16, independentemente do nível de cálculo, a quantidade de $\text{CO}_2\text{-e}$ emitido por kg de equivalente carcaça diminui com a intensificação do sistema, sendo maior em sistema de pastagens degradadas, e menor em sistemas de pastagens recuperadas com suplementação, mais a terminação em confinamento. Em vista disso, implícito no Cenário de Baixo Carbono está uma aceleração na intensificação da bovinocultura de corte.

Tabela 16: Emissões de gases de efeito estufa por animal e por kg de equivalente carcaça nos diferentes sistemas de produção

Sistema produtivo	Emissões por animal			Emissões/produto (kg $\text{CO}_2\text{-e}$ / kg carcaça)
	no rebanho (kg/ano)			
	CH_4	N_2O	$\text{CO}_2\text{-e}$	
Pastagens degradadas	56,38	0,20	1,25	29,65
Pastagens extensivas	51,71	0,22	1,15	21,89
ILP¹	51,73	0,21	1,15	18,76
Confinamento²	51,53	0,21	1,15	17,64

1. Cria extensiva e engorda em integração lavoura-pecuária
2. Cria extensiva e engorda em confinamento

Para a construção dos Cenários de Referência e de Baixo Carbono, o efetivo do rebanho nacional foi estimado utilizando abordagem similar àquela descrita por Barioni et al. (2007). Nessa abordagem, uma projeção do efetivo é ajustada numericamente para atender à demanda projetada de carne (em kg de equivalente-carcaça). Foram adotados dados do efetivo do rebanho nacional, produção de carne e área de pastagens, resultantes de simulações de um modelo de competição pelo uso da terra, desenvolvido pela ICONNE consultoria.

Devido à falta de estatísticas nacionais publicadas sobre a proporção e distribuição geográfica dos sistemas produtivos, na construção dos Cenários de Referência e de Baixo Carbono o efetivo do rebanho nacional foi ajustado numericamente para atender à demanda projetada de carne (em kg de equivalente-carcaça). A área, efetivo e produção de cada um dos tipos de sistemas considerado foram gerados atendendo as seguintes premissas: (a) o somatório de produção de carne dos sistemas produtivos é igual à produção projetada pela ICONNE nos anos de 2008 e 2030; (b) o somatório da área de pastagens ocupada pelos sistemas produtivos é igual à projetada pela ICONNE nos anos de 2008 e 2030, e; (c) o somatório do efetivo em cada sistema produtivo é igual ao projetado pela ICONNE nos anos de 2008 e 2030. No período de 2008 e 2030 a proporção dos sistemas foi interpolada linearmente.

$$E = \sum_k (PP_k * E_k) \quad (28)$$

$$A = \sum_k \left(\frac{PP_k * E_k}{TL_k} \right) \quad (29)$$

$$Pd = \sum_k (PP_k * Pd_k) \quad (30)$$

Onde E é o efetivo do rebanho nacional (cabeças), A é a área de pastagens do país (ha) e Pd é a produção anual de carne (t e-carcaça/ano). O subscrito k define o sistema produtivo. PP_k é a proporção, em quantidade de animais, do k-ésimo sistema produtivo (adimensional) e TL_k é a taxa de lotação do k-ésimo sistema produtivo (cabeças/ha).

Foi considerado ainda um ganho linear de produtividade devido ao melhoramento genético, estimado em 0,3% ao ano (Lobo et al., 2009).

Visando a proporcionar bases para o cálculo do balanço de carbono na pastagem para o grupo responsável pelas emissões na agricultura, utilizou-se das taxas de lotação de cada município fornecido pela ICONE como *proxy* do nível de intensificação da pecuária no município. Para o mapeamento das áreas de baixa produtividade, os municípios foram ordenados pela taxa de lotação e a área de pastagens somada daqueles com menor para a maior taxa de lotação, até que a área de pastagens fosse igual a 30% da área de pastagens da região. Todos os municípios com taxa de lotação abaixo daquela que encerra 30% da área foram considerados como municípios de baixa produtividade. A proporção de áreas de baixa produtividade foi computada a partir da área dos municípios para cada microrregião. As estimativas foram fornecidas como *input* para as análises dos demais temas de LULUCF.

A quantificação das áreas degradadas também permitiu a estimação das emissões ao longo do tempo em termos espaciais por outros grupos. Como os sistemas de produção em pastagens extensivas, integração lavoura-pecuária e confinamento possuem valores de emissão por cabeça muito próximos, foi possível estimar as emissões dos sistemas de pastagens degradadas pela área e o das demais pelo efetivo restante, utilizando-se o seguinte modelo:

O efetivo em área degradada e não degradada (Bd e Bnd) pode ser calculado como:

$$Bd = At * Pd * Ld \quad (31)$$

$$Bnd = Bt - Bd \quad (32)$$

Onde Ld é a taxa de lotação das pastagens degradadas.

Pode-se estimar a emissão nos sistemas com pastagens degradadas (Ed) e não degradadas (End) como:

$$Ed = Bd * Ed \quad (33)$$

$$End = Bnd * End \quad (34)$$

Onde Ed é o coeficiente de emissão por animal (Mg CO₂-e cab-1 ano-1) em um sistema de produção de bovinos de corte com pastagens degradadas e End é o coeficiente de emissão por animal (Mg CO₂-e cab-1 ano-1) em um sistema de produção de bovinos de corte em pastagens não degradadas. A emissão total da microrregião (Et) é, portanto, Et = Ed + End.

2.1.4.1.2 Resultados do Cenário de Referência

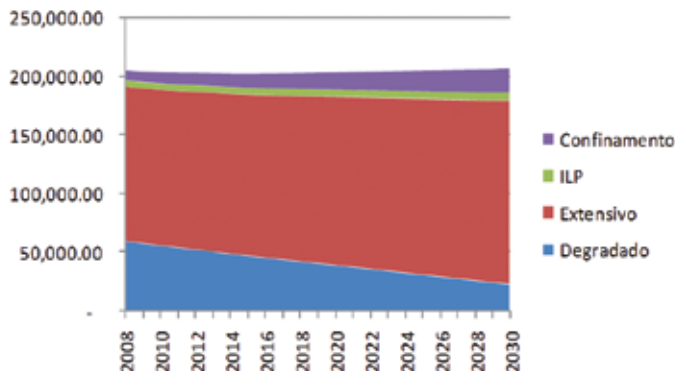
Considera-se no Cenário de Referência a evolução esperada em produção e produtividade da pecuária, de maneira que a projeção do Cenário de Referência até 2030 inclui mudanças na composição dos sistemas produtivos devido a variações na demanda de carne bovina, área e rebanho.

A projeção de produção de carne no Brasil, tanto para o Cenário de Referência quanto para o Cenário de Baixo Carbono, prevê aumento de 35,6% até 2030, passando de aproximadamente 9,7 milhões de toneladas de equivalente-carcaça em 2008 para 13,15 toneladas em 2030. Para o Cenário de Referência projeta-se ainda uma variação da área de pastagens de 205,38 milhões de hectares para 207,06 milhões de hectares e, do rebanho, de 201,41 milhões de cabeças para 243,2 milhões de cabeças (Tabela 17). A evolução da área ocupada pelos sistemas produtivos no Cenário de Referência é apresentada na Figura 11, que sugere aumento no efetivo bovino, aumentos nas proporções de integração lavoura-pecuária e confinamento, uma redução do rebanho em sistemas de pastagens extensivas e em pastagens degradadas.

Tabela 17: Estimativas de área, rebanho, proporção do rebanho nos sistemas produtivos e emissões para o Cenário de Referência

Sistema produtivo	Área (milhões de ha)		Rebanho (milhões de cab)		Proporção (% do rebanho)		Emissões Mg CO ₂ -e	
	2008	2030	2008	2030	2008	2030	2008	2030
Pastagens degradadas	59,524	22,610	22,379	8,500	11,04	3,49	27.974	10.625
Pastagens extensivas	132,173	156,858	155,510	184,539	76,69	75,88	178.837	212.219
ILP¹	5,500	7,141	10,000	12,985	4,93	5,34	11.500	14.932
Confinamento²	8,182	20,500	14,879	37,182	7,34	15,29	17.111	42.759
Total	205,380	207,060	202,768	243,205	100,00	100,00	235.421	280.536

Figura 11: Variação da área de pastagens ocupada por tipo de sistema produtivo no Cenário de Referência (milhões de hectares)



2.1.4.2 Emissões agrícolas

As emissões de gases de efeito-estufa (GEE) de áreas agrícolas foram avaliadas tendo em conta as emissões dos solos e da energia fóssil empregada em operações agrícolas. Foram consideradas como emissões de GEE do solo: a perda de C do solo; as emissões de metano a partir de campos de arroz inundado e da queima de biomassa; e as emissões de óxido nitroso, devidas à biomassa queimada, utilização de fertilizantes, decomposição de resíduos vegetais e mineralização do N ocasionada com a redução do estoque de carbono do solo. No caso da energia fóssil utilizada em áreas agrícolas, foram consideradas as produções de GEE oriundas da energia consumida na fabricação do aço de máquinas e implementos agrícolas e da queima do óleo diesel para operações agrícolas, tais como aração, gradagem, pulverizações, adubações, etc. A energia relacionada à fabricação e transporte de insumos, tais como herbicidas, pesticidas e fertilizantes, foi tratada em outro tema (Tema Energia) do estudo de baixo carbono, publicado em outro relatório síntese, e sua consideração nos cálculos repercutiria em dupla contabilidade de GEE.

A quantificação das emissões de GEE do solo é um exercício de inventário e, portanto, a metodologia do IPCC (1996; 2006) foi utilizada como base. No caso das estimativas de emissões de GEE pelo uso de energia fóssil foram utilizados coeficientes técnicos levantados para as culturas, cujas horas de trabalho em cada operação agrícola foram convertidas em unidades de energia (Megajoules - MJ) e a energia convertida em GEE, tendo como referência a quantidade de equivalentes de CO₂ (CO₂, N₂O e CH₄) liberados com a queima de óleo diesel para gerar a respectiva quantidade de energia da operação agrícola (Boddey et al, 2008). As estimativas de GEE foram feitas considerando os sistemas de produção mais comuns para as culturas do algodão, arroz, feijão, milho, soja e cana-de-açúcar.

2.1.4.2.1 Avaliação das emissões de CO₂ por mudanças nos estoques de C do solo

As emissões ou remoção de CO₂ decorrentes das mudanças nos estoques de C do solo foram estimadas com a metodologia do IPCC (2006), segundo a qual os fluxos de CO₂ são estimados indiretamente, através do balanço da variação líquida nos estoques de carbono do solo devido às mudanças no uso do solo. Para estimar as mudanças líquidas nos estoques de carbono, a metodologia do IPCC requer a estimativa dos estoques até 30 cm de profundidade, distribuídos por tipos de uso e por categoria de solo, para um período de 20 anos. Assume-se que 20 anos é o tempo para que o estoque de C do solo chegue a um nível de equilíbrio para determinado uso de solo. Assim, para calcular os estoques de C de 2010 a 2030, foi necessário levantar os dados de uso do solo desde 1990.

Para que a metodologia funcione corretamente, a área total de cada região a ser considerada deve ser a mesma ao longo dos anos. Esse estudo estima as emissões de GEE de áreas sob lavouras e também as áreas sob pastagens e sob florestas

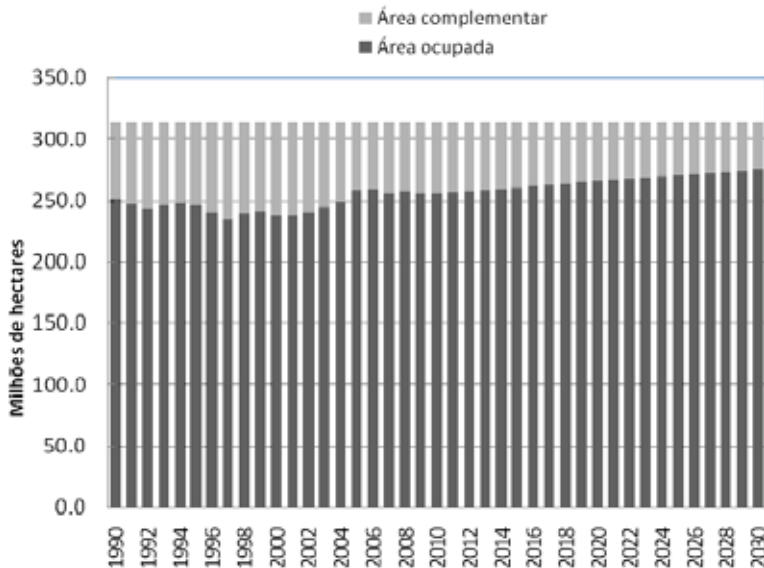
plantadas, chamadas de áreas ocupadas, todas dentro do Cenário de Referência. Assim, as diferenças entre os anos da contração ou expansão das áreas ocupadas foram consideradas como áreas complementares, que na realidade correspondem à área “sob outros usos” (ex.: lavouras permanentes) e sob “vegetação nativa”. Para uma dada região, a maior área entre os anos 1990 a 2030 ocupada por lavouras e pastagens correspondeu à condição de área complementar zero. Para 1990 estimou-se que, sempre que a área complementar superasse a área estimada de “outros usos” desse ano (dados do IBGE de áreas de lavoura temporária de verão, não consideradas, e de lavouras permanentes), a diferença corresponderia à área de vegetação nativa (Tabela 18). De 1991 em diante, a expansão de área acima da soma de área ocupada e de “outros usos” de 1990 correspondeu à diminuição da vegetação nativa. A contração de área significou o aumento de “outros usos”.

Tabela 18: Áreas sob diferentes usos do solo e total no ano de 1990, por Unidade da Federação

UF	Uso do solo					Área total por UF
	Lavouras	Pastagens	Florestas plantadas	Outros usos	Vegetação nativa	
RO	336,89	3.907,44	41,04	4.411,01	1.946,61	10.642,99
AC	75,12	660,90	11,30	760,20	1.054,33	2.561,86
AM	9,41	436,23	1,11	505,21	2.753,65	3.705,60
RR	10,29	2.579,81	1,41	118,26	0,00	2.709,77
PA	362,01	7.307,78	114,37	8.161,45	12.441,67	28.387,26
AP	1,10	510,92	84,94	167,08	0,00	764,04
TO	335,14	19.260,40	0,08	0,00	0,00	19.595,62
MA	1.372,60	7.530,28	27,84	447,59	0,00	9.378,31
PI	863,83	3.404,29	3,01	412,49	0,00	4.683,61
CE	1.582,17	2.993,38	24,63	832,69	0,00	5.432,87
RN	227,85	1.585,01	5,32	597,03	0,00	2.415,22
PB	776,01	2.729,40	15,11	99,44	0,00	3.619,95
PE	991,66	2.312,39	13,54	1.060,51	0,00	4.378,10
AL	782,98	848,15	2,24	161,96	0,00	1.795,34
SE	174,76	1.193,56	2,91	403,53	0,00	1.774,76
BA	1.025,70	16.118,15	297,43	5.072,59	0,00	22.513,87
MG	3.110,03	30.585,35	1.707,78	6.932,01	0,00	42.335,18
ES	231,41	1.389,58	172,74	91,23	0,00	1.884,95
RJ	269,08	1.243,02	25,88	963,03	0,00	2.501,01
SP	4.234,49	7.466,69	597,00	4.668,65	0,00	16.966,83
PR	5.558,22	4.909,67	713,13	3.225,61	0,00	14.406,63
SC	1.776,44	2.586,13	561,55	752,11	0,00	5.676,23
RS	6.073,59	10.246,60	630,14	0,00	0,00	16.950,32
MS	1.821,76	23.477,38	181,08	3.467,00	0,00	28.947,21
MT	2.377,35	33.185,03	67,83	426,91	0,00	36.057,12
GO	2.437,54	21.287,09	72,65	0,00	0,00	23.797,28
DF	76,30	89,47	19,98	52,41	0,00	238,16

Assim, o total de área ocupada (fornecido pelo ICONE) e de área complementar computado para o Brasil ao longo dos anos é mostrado na Figura 12, usado nos cálculos de emissões/remoção de CO₂ do solo por mudança de uso.

Figura 12: Área do país ocupada com lavouras, pastagens, florestas plantadas e área complementar, na forma de vegetação nativa e outros usos, durante o período de 1990 a 2030



Pela Equação 35, o estoque de C do solo é calculado para o uso do solo existente no ano desejado e também para 20 anos atrás (exemplo: se a área sob determinado uso do solo não mudou do ano atual em relação a 20 anos atrás, a diferença nos estoques de C é zero e, assim, não há emissão ou remoção de CO₂).

$$\Delta C = \frac{(SOC_0 - SOC_{0-20})}{D} \quad (35)$$

Sendo ΔC a variação dos estoques de C do solo (SOC) para determinado uso do solo, calculada no tempo desejado (SOC₀) e 20 anos antes (SOC₀₋₂₀); D é o tempo para que a condição de equilíbrio do C do solo seja atingida, ou seja, 20 anos.

O estoque de C do solo devido a determinado uso do solo é calculado em relação ao estoque de carbono em uma condição de referência (ou seja, vegetação nativa que não era degradada ou melhorada), conforme mostrado na Equação 36:

$$SOC = SOC_{ref} \times F \times A \quad (36)$$

Onde SOC_{ref} é o estoque de C do solo na área sob vegetação nativa para a região de interesse; F é o fator de mudança de C do solo; e A é área sob determinado uso.

O fator de mudança de estoque de C do solo é o produto de três fatores: (1) fator de

uso da terra; (2) fator de preparo do solo; e (3) fator de entrada de resíduos. De fato, o fator de mudança de estoque de C do solo indica a fração do C da vegetação nativa que permanece no solo após 20 anos de uso do solo. Quanto menor o valor de F, maior é a perda de C do solo provocada pelo respectivo uso do solo. De acordo com o IPCC (2006), não existe um valor de F estimado para diferentes culturas anuais. No entanto, para o presente estudo, fez-se estimativas de F para cada uma das 6 culturas analisadas, de modo empírico, com base em consultas a especialistas e em trabalhos publicados sobre remoção de C por sistemas de produção.

Considerando as variações de estoques de C do solo para os diferentes usos do solo de uma dada região, chega-se à estimativa de emissão ou remoção de C. Por exemplo, se houve aumento do uso do solo de determinada área com culturas com um baixo valor F em relação ao observado há 20 anos, chega-se a uma estimativa de emissão de CO₂ pela redução do estoque de C do solo.

Para o uso do método, as seguintes hipóteses são feitas: (i) Ao longo do tempo, o C do solo atinge um nível de equilíbrio específico para o solo, clima, uso do solo e práticas de manejo; e (ii) as alterações nos estoques de C do solo durante a transição para um novo equilíbrio ocorrem de forma linear.

Mudanças nos estoques de C do solo por culturas

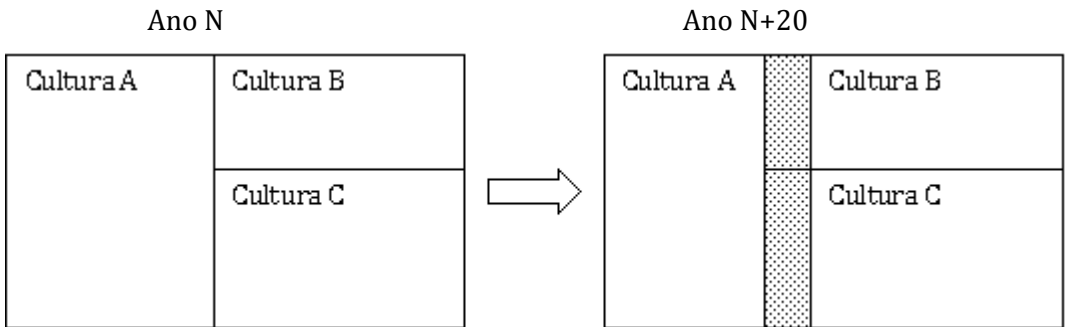
A metodologia proposta pelo IPCC (2006) permite estimar as emissões de CO₂ em função dos diferentes usos do solo para uma área conhecida (país, estado, região, microrregião, etc.). A emissão ou remoção de C é calculada pelo balanço de estoques de C sob cada tipo de uso do solo em função das variações de área sob cada um. Por isso, o resultado final é expresso em Mg CO₂ pela área total. No entanto, o modelo utilizado para calcular as emissões totais pela agricultura nesse estudo requereu um fator de emissão por cultura, para cada ano do estudo, expresso em Mg eq ha⁻¹. Para isso, desenvolveu-se uma nova metodologia.

Como exemplo, temos o esquema a seguir (Figura 13): num ano N, 3 culturas (A, B e C) ocupavam determinada fração de uma área conhecida. No ano N+20, a cultura A perdeu área para as culturas B e C. Também é possível que os sistemas de produção dessas culturas tenham mudado ao longo desse tempo (ex.: plantio convencional para plantio direto), de forma que os respectivos fatores de mudança de estoque de C do solo, F_A, F_B e F_C, também tenham se alterado do ano N para o ano N+20. Dessa forma, as emissões, ou remoção de carbono, de CO₂ pela mudança de estoques de C do solo por cultura, em função da mudança de uso do solo, são calculados pela Equação 37:

$$ES \text{ (emissão ou remoção de C)} = C_F + \Delta C_V \quad (37)$$

Onde C_F é o estoque de C da área que não variou entre os anos, e ΔC_V é o avanço de área da cultura. Assume-se que a cultura que ganha área é a que causa a mudança no estoque de C do solo. Dessa forma, para uma cultura que somente perde área, ΔC_V é zero.

Figura 13: Esquema fictício de mudança de uso da terra por três culturas (A, B e C)



Para o cálculo de C_p utiliza-se a metodologia de cálculo de estoques de C, tal como no IPCC (2006), com mudança no uso do fator de mudança do estoque de C do solo (F) (Equação 38):

$$C_F = (C_{ref} \times A_{N+20} \times \Delta F) / (\Delta t) \quad (38)$$

Onde C_{ref} é o estoque de C sob vegetação nativa (C da área de referência); A_{N+20} é a área ocupada pelas culturas no ano N+20; e ΔF é a diferença de F entre os anos N e N+20. Assim, se o manejo da área não se alterou no tempo, os Fs são os mesmos, ou seja, ΔF é zero e, em consequência, C_F também é zero; Δt é o tempo (de acordo com o IPCC, 20 anos).

Para o cálculo de ΔC_v , deve-se primeiro calcular o somatório total da área que sofreu mudança de uso por culturas para a área ou região em estudo, podendo ser o somatório das áreas que reduziram, ou das que aumentaram, pois são iguais em módulo. Depois, calcular para cada cultura que teve sua área aumentada, a fração desse aumento (fr) em relação à área total reduzida, ou aumentada (sempre em módulo). Para as culturas que tiveram sua área aumentada, o cálculo das emissões ou remoção de C por essa cultura pela mudança de uso do solo (ΔC_v) deve considerar seu efeito integrado sobre cada cultura que teve sua área reduzida, o que é calculado pela Equação 39:

$$\Delta C_v = \{ \sum [fr_a \times (-A_{ri}) \times (F_{N+20(g)} - F_{N(p)})] \times C_{ref} \} / \Delta t \quad (39)$$

Onde fr_a é a fração de área aumentada; A_{ri} é a área reduzida da cultura i; $F_{N+20(g)}$ é o fator de mudança de estoque de C do solo no tempo N+20 para a cultura que ganhou área; e $F_{N(p)}$ é o fator de mudança de estoque de C do solo no tempo N para a cultura que perdeu área.

Estimativa do estoque de C do solo sob vegetação nativa para cada região

A estimativa dos estoques de carbono sob vegetação nativa foi feita considerando as regiões delimitadas pelo cruzamento de classes de solos e de vegetação. Como o mapa de solos do Brasil (MCT – www.mct.gov.br) apresenta muitas categorias, foi feita uma simplificação baseada nos critérios do IPCC (2006), que considera a textura, atividade da argila e drenagem. Para este estudo, o mapa de solos foi simplificado nas seguintes categorias: Latossolos (todos os Latossolos); Outros solos com argilas de baixa atividade (Argissolos, Cambissolos, Planossolos, Plintossolos, etc.); Solos com argila de alta atividade (Chernossolos, Vertissolos, Alissolos); Solos arenosos (Entissolos, Espodossolos, etc.); e Solos hidromórficos (Mapa 6A). A categoria Organossolos foi inicialmente considerada separadamente, mas, como ocupa uma área muito pequena no país, foi incluída na categoria de Solos hidromórficos. No caso do mapa de vegetação, foram considerados os Pampas, Cerrados, Caatinga, Floresta Amazônica, Floresta decídua e Floresta Atlântica (Mapa 6B).

Mapa 6: Simplificação do mapa de solos do Brasil com as seis categorias de solos (A); do mapa de vegetação, com as seis categorias consideradas (B); e a visualização dos estoques de C do solo sob vegetação nativa no Brasil (C)



Com as classificações simplificadas de solos e vegetação foram criadas 30 combinações solo x vegetação, sendo atribuído para cada uma um valor de estoque de C no solo com base em publicações científicas e bases de dados de solos da Rede Agrogases da Embrapa, cujo mapa aparece no Mapa 6C. Os estoques calculados para a região Sul e Sudeste, de 51,12 Mg C ha⁻¹ e 47,12 Mg C ha⁻¹, destoaram dos estoques informados para as mesmas regiões no primeiro inventário de gases de efeito estufa do País (www.mct.gov.br), que foram de, respectivamente, 60,5 e 40,3 Mg C ha⁻¹. Para as demais regiões, os dados estimados neste estudo parecem razoáveis. Como o conjunto de dados disponíveis neste estudo era inferior ao usado no inventário do país, foram considerados os estoques do inventário para as regiões Sul e Sudeste. Assim, foram estabelecidos os estoques de C do solo sob vegetação nativa para o país, por região do Modelo BLUM, conforme a Tabela 19.

Tabela 19: Estoque de C do solo sob vegetação nativa, ponderado para cada região do Modelo BLUM

Região BLUM	Estoque de C original (Mg/ha)
Sul	60,5
Sudeste	40,3
Centro-Oeste	40,1
Norte Amazônia	46,5
Nordeste Litorâneo	26,2
MAPITO-Bahia	35,0

O fator de mudança de estoque é alterado pelo uso do solo (contínuo com lavouras, pastagens, arroz inundado, etc.), perturbação do solo (preparo convencional, plantio direto, etc.) e quantidade de resíduos depositados (basicamente a quantidade de palha e raízes que retornam ao solo após cada ciclo).

Não é simples atribuir valores aos fatores de mudança de estoque de C do solo (F) por cultura. Por exemplo, separar o sistema de produção de soja do de milho é impossível. Em geral, as áreas de produção de soja fazem rotação com o milho no verão. No inverno, as culturas do trigo e da aveia são as mais utilizadas no Sul do Brasil, enquanto o milho safrinha predomina nas demais regiões. Assim, a soja e o milho compõem um sistema de produção, com poucas opções efetivamente usadas para cultivo de inverno. Para este estudo, considerou-se que o efeito da soja era o mesmo do milho, e englobava o uso de culturas de inverno. No caso do algodão, os sistemas de produção ainda são em monocultura, e as áreas de produção se concentram no Cerrado, mais especificamente em Mato Grosso, Bahia e Goiás (Lamas, 2008). É uma cultura que produz um pouco menos resíduo que a soja e milho, o que justificaria um F menor. No entanto, também são usadas em rotação com a soja. Da mesma forma, a cultura do feijoeiro de primeira safra produz pouco resíduo e acaba sendo seguida da segunda safra de feijão, principalmente em Minas Gerais, maior produtor do Brasil (Embrapa Arroz e Feijão - www.cnpaf.embrapa.br). Foi considerada como de efeito similar ao algodoeiro, com relação ao C do solo. A produção de arroz inundado também é feita em monocultura, e quando irrigada ou inundada apresenta alto potencial de acumulação

C no solo (IPCC, 2006). Em condições de sequeiro, o arroz é utilizado em áreas recém-desmatadas, ou após longos períodos sob pastagens. Pela produção de massa de resíduos, de alta relação C/N, e frente às condições de uso, atribuiu-se um valor de F à cultura do arroz levemente superior ao de soja-milho e algodão. A cultura de cana-de-açúcar é contínua e tem alto potencial para manter as reservas de C no solo (Cerri et al., 2007; Soares et al., 2009).

Estimativa da mudança dos estoques de C do solo para cada região

Os estoques de C do solo para determinado uso de solo requer, além do tamanho da área sob uso e o estoque de C sob vegetação nativa, o fator de mudança de estoque de C do solo. Esses fatores não foram definidos para as culturas utilizadas neste estudo e, por isso, os fatores para cada tipo de uso foram estimados com base nos critérios sugeridos pelo IPCC (2006) e no conhecimento de investigadores que fazem parte da equipe deste estudo.

As estatísticas sobre uso do plantio direto no Brasil não são oficiais e, nos últimos 5 anos, a área sob o sistema não tem sido mais monitorada. No atual cenário, cerca de 77% da área manejada com plantio direto estão associados às culturas do milho e soja, e não ultrapassam 25 milhões de hectares (dr. Maury Sodda, Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha - FEBRAPDP, Ponta Grossa, PR, informação pessoal). Considerando as culturas utilizadas neste estudo, exceto a cana-de-açúcar e pastagens, essa área equivale a 66% da área plantada em 2008. De acordo com informações obtidas de especialistas da FEBRAPDP, essa proporção deve se manter caso não haja um estímulo para mudar, uma vez que a forma como o plantio direto vem sendo feito não é como preconizada (Saturnino & Landers, 1997), e problemas de compactação do solo, pragas e doenças fazem com que alguns produtores revertam o sistema para o plantio convencional. Assim, no Cenário de Referência, ou de linha de base, considerou-se que até 2030, 66% da área plantada com as lavouras, exceto cana, seriam mantidas com plantio direto. O plantio direto corresponderia a 77% da área sob milho e soja, e 8% da área sob as demais culturas usadas neste estudo. A área sob plantio direto, considerada para o período de 1989 até 2005, foi a disponível na FEBRAPDP (www.febrapdp.org.br). Em geral, sistemas convencionais de preparo do solo usados em lavouras de grãos causam mais redução nos estoques de C do solo (Zinn et al., 2005; Fearnside & Barbosa, 1998) do que na ausência de perturbação, em sistema de plantio direto (Zinn et al., 2005; Cerri et al., 2007).

No presente estudo, considerou-se que o fator de mudança de estoque de C do solo variou em 10 a 20%, dependendo da região, sendo maiores as variações sob plantio direto (Tabela 20). Nesse caso, considera-se que as culturas de inverno são diversificadas e que as premissas do sistema são obedecidas, o que permite a acumulação de C no solo (Boddey et al., 2006). Os fatores considerados para plantio convencional significam que o uso do solo reduz os estoques de C a níveis entre 40 e 70% daquele existente sob vegetação nativa, faixa observada em levantamentos feitos no país (Zinn et al., 2005).

Tabela 20: Fatores de mudança de estoque de C no solo para cada tipo de uso do solo

Uso do solo	Sul	Sudeste	Centro-Oeste	Norte Amazônia	Nordeste Litorâneo	MAPITO-Bahia
Algodão	0,50-0,60	0,40-0,50	0,40-0,50	0,40-0,50	0,45-0,55	0,40-0,50
Arroz	0,70-0,90	0,45-0,55	0,45-0,55	0,45-0,55	0,50-0,55	0,45-0,55
Feijão	0,50-0,60	0,40-0,50	0,40-0,50	0,40-0,50	0,45-0,55	0,40-0,50
Milho	0,50-0,60	0,40-0,50	0,40-0,50	0,40-0,50	0,45-0,55	0,40-0,50
Soja	0,50-0,60	0,40-0,50	0,40-0,50	0,40-0,50	0,45-0,55	0,40-0,50
Cana-de-açúcar	0,85-0,90	0,85-0,90	0,85-0,90	0,85-0,90	0,85-0,90	0,85-0,90
Pasto degradado	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Pasto produtivo	1,00	1,00	1,00	0,90	0,90	1,00
Floresta plantada	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Outros usos	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Vegetação nativa	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Nota: O fator de impacto para as culturas variou em função da proporção de adoção do plantio direto. O fator de impacto da cultura de cana-de-açúcar variou em função da proporção colhida sem a queima.

Embora exista alguma estatística sobre a área de pastagens do país, existe pouca certeza sobre a proporção considerada de baixa produtividade, ou em processo de degradação. No início da década de 1990, alguns trabalhos sugeriam que cerca de 50 milhões de hectares de pastagens dos Cerrados apresentavam algum grau de degradação (Macedo & Zimmer, 1993; Macedo, 1995). Não existem estimativas recentes disponíveis, mas acredita-se que mais de 50% da área de pastos cultivados esteja degradada. Nessa condição, a pastagem produz menos matéria orgânica e a tendência é a do solo apresentar estoques de C menores do que os observados sob vegetação nativa, ou sob pasto produtivo (Fernside et al., 1998; Fisher et al., 2007; Zinn et al., 2005), embora não sejam incomuns relatos de solos sob pastagens com mais C do que sob vegetação nativa (Fisher et al., 2007; Zinn et al., 2005). Neste estudo considerou-se uma área de pastagem subutilizada, a partir de dados de rebanho e de área de pastagens, o que corresponderia à condição em que a lotação animal é inferior a 0,55 cabeças ha⁻¹. Com base no trabalho de Fearnside & Barbosa (1998), o fator de mudança do estoque de C do solo sob pasto produtivo é de 0,9 para a Amazônia. Para as regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e MAPITO, o fator é igual a 1 (Fisher et al., 2007) e, para o Nordeste, de 0,9 devido às condições mais limitantes de clima. De acordo com Fisher et al. (2007), pastos degradados teriam cerca de 20 % menos C estocado no solo do que pastos produtivos. Assim, o fator de mudança de estoque de C do solo considerado para a pastagem subutilizada foi de 0,8.

Lima et al. (2008) concluíram que 34 anos após a retirada da vegetação nativa para entrada de plantações de eucalipto, os estoques de C do solo ficaram reduzidos a 77% do original. Não existem outros estudos em solos brasileiros a esse respeito. Pela representatividade do estudo de Lima et al. (2008), considerou-se o valor 0,8 para o

fator de mudança de estoque de C do solo para florestas plantadas. A área mantida sob “vegetação nativa” tem um fator de mudança de estoque igual a 1. Áreas sob “outros usos”, que envolveriam áreas abandonadas, áreas sob outras culturas, ou mesmo sem uso agrícola, foram consideradas com fator de mudança de estoque de C do solo igual a 0,85.

Estimativa das emissões de N₂O pela mudança de estoque de C do solo

Quando o solo perde C devido ao uso do solo, uma certa quantidade de N mineral é liberada no solo. Considera-se que 1% do N mineralizado é emitido para a atmosfera como N₂O (IPCC, 2006). De acordo com o método do IPCC (2006), as emissões de N₂O são computadas somente quando o balanço de estoques de C do solo para uma dada região é negativo, ou seja, quando ocorrem emissões de CO₂ devido ao uso do solo. Para o cálculo das emissões de N₂O por esta via, são calculadas as mudanças de estoques de C do solo tal como descrito anteriormente. Como a matéria orgânica do solo tem relação C/N na faixa de 12 (Sisti *et al.*, 2004), cada 12 unidades de C que se mineralizam até CO₂ liberam uma unidade de N na forma mineral. Logo, $\frac{1}{12}$ da quantidade de C do solo perdida de uma dada região representa a quantidade de N mineralizado. A emissão de N₂O corresponde a 1% do N mineralizado.

Estimativa das emissões de N₂O do solo pelo aumento do N disponível com a aplicação de fertilizantes nitrogenados e decomposição de resíduos

Sempre que a quantidade de N mineral no solo aumenta, aumentam as emissões de N₂O do solo (Jantalia *et al.*, 2006). De acordo com o IPCC (2006), 1% do N aplicado como fertilizante, ou mineralizado de resíduos deixados após cada ciclo das culturas, é emitido como N₂O.

As perdas indiretas de N-N₂O são estimadas em função da fração do N que entra no solo pelo fertilizante e pela mineralização de resíduos. Como não existem dados que permitam diferenciar os processos de perdas por região, a consideração das perdas indiretas implicaria em usar um fator constante de perda de N (lixiviação de nitrato e volatilização de amônia) para todas as áreas e, a essa quantidade perdida, seria aplicado um fator de emissão indireta, igual para todas as regiões.

No caso dos fertilizantes, foi considerado que 1% da quantidade de N aplicada é emitida como N-N₂O. Se as perdas são consideradas, os fatores resultam em 10% de perda de N por volatilização de amônia, sendo 1% perdido como N₂O, e 30% de perda de N por lixiviação de nitrato, sendo 0,75% perdido como N₂O. Isso significa que, assumindo que esses processos ocorrem em igual intensidade para as culturas de sequeiro fertilizadas com N no país, o fator de emissão ponderado (perdas diretas e indiretas) é de 1,325%. No caso dos resíduos e do N mineralizado do solo, foi utilizado o fator de 1% para emissões diretas. Como essas fontes não implicam em emissões por volatilização de amônia, as emissões indiretas são atribuídas à lixiviação de nitratos. Assim, o fator de emissão ponderado é de 1,225%. No caso da cultura do arroz inundado, foi utilizado o fator de emissão de 0,3% para emissões diretas (IPCC, 2006). Logo, o fator ponderado para fertilizantes para essa condição é 0,625 e, para as demais fontes, 0,525.

Estimativa das emissões de CH₄ em áreas de produção de arroz inundado

Considerou-se neste estudo que a área de produção de arroz inundado correspondeu a toda a área plantada com arroz no Sul do Brasil. As demais regiões foram consideradas como produtoras de arroz de terras altas. Nesse caso, a produção de metano foi computada somente para as áreas de arroz da região Sul. Os resultados de uma pesquisa realizada na região Sul pela dra. Magda Aparecida de Lima, coordenadora de um dos temas deste estudo, sugerem que o fator de emissão de 210 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de metano seria razoável para ser utilizado neste estudo (Lima, 2009). O uso de um fator único segue o *Tier 1* da metodologia do IPCC de 1996, que é anual e não desagrega por regime de irrigação. De fato, o levantamento de uso do solo feito pelo ICONE não discrimina como o solo será usado na cultura do arroz, e por isso o uso da metodologia mais complexa não diminuiria a incerteza do estudo. Em sistema de arroz inundado, no Sul do Brasil, foi mostrado que o uso do plantio direto reduziu as emissões de metano em cerca de 15% (Lima, 2009), valor considerado no presente estudo como efeito do plantio direto nesta cultura.

Estimativa das emissões de N₂O e CH₄ pela queima da palha de cana-de-açúcar para colheita

Para essa estimativa foi adotada a metodologia do IPCC (2006), que estima a produção de N₂O e CH₄ em função da quantidade de biomassa seca produzida que se queima. Levou-se em conta que a eficiência da queima foi de 80% (valor disponível para cana-de-açúcar no IPCC, 2006). Pelo método, cada tonelada de palha de cana queimada produz 2,7 kg de metano e 0,07 kg de N₂O. O total de palha seca (MS) produzida por um hectare de cana sujeita à queima foi considerado como 13 toneladas, a partir de estudo feito com diversas variedades da planta (Xavier, 2006). Os cálculos são representados pelas Equações 40 e 41:

$$CH_4 = 2,7 \times 0,8 \times MS \quad (40)$$

$$N_2O = 0,07 \times 0,8 \times MS \quad (41)$$

2.1.4.2.2 Produção de gases de efeito estufa pelo uso de energia fóssil

Essa produção de GEE na agricultura ocorre pela queima de combustíveis fósseis para geração de energia para processos de síntese, processamento e transporte de insumos, assim como para a execução de operações agrícolas (preparo do solo, plantio, tratamentos culturais e colheita).

O adubo nitrogenado é especialmente “caro” em termos de consumo de energia fóssil, visto que é produzido pelo processo Haber-Bosch, a temperaturas e pressões altas, alimentado por gás natural. A energia fóssil utilizada na produção de ureia foi calculada em 54 MJ kg⁻¹ N, em comparação a 3,2 e 5,9 MJ kg⁻¹ de P e K, respectivamente (Laegreid et al. 1999). Outros ingressos de energia fóssil vêm dos herbicidas e

inseticidas. Culturas como algodão, soja e cana-de-açúcar consomem grande quantidade de defensivos e herbicidas. O uso do plantio direto aumenta ainda mais o consumo de herbicidas. Devido à complicada síntese dos herbicidas, esses produtos necessitam de grandes quantidades de energia fóssil na sua fabricação industrial, estimadas em 452 MJ por kg de ingrediente ativo. No entanto, como a etapa de fabricação e distribuição dos produtos foi contabilizada em outros temas deste estudo, publicados em outro Relatório Síntese, esta parte do estudo considerou somente as emissões por operações agrícolas.

Nas operações agrícolas foram incluídos tanto o óleo diesel usado para mover as máquinas e implementos como, segundo as normativas internacionais ISO 14040, a energia fóssil utilizada na fabricação, manutenção e possível desmontagem e disposição de equipamentos, o que foi abordado tendo a metodologia de Pimentel (1980) como base. As operações agrícolas para cada cultura foram levantadas para o ano de 2008 através de contatos com especialistas e Cooperativas, tais como a COCAMAR (PR), Fundação MT, COMIGO, etc.

O total de energia gasto com cada operação agrícola em cada cultura foi convertido em equivalentes de CO₂, considerando-se o total de GEE emitidos pela queima de óleo diesel, combustível considerado padrão para a geração de toda a energia dessas operações. De acordo com o IPCC (2006), cada 1 GJ de energia gerado com a queima de óleo diesel libera 73,5 kg CO₂eq.

2.1.4.2.3 Síntese das emissões das atividades agrícolas

No Cenário de Referência as emissões totais de CO₂eq da agricultura chegam a 2.047,9 milhões de toneladas, considerando todo o período de 2010 a 2030 (Tabela 21). As emissões de CO₂ ocorrem pela emissão de energia fóssil no manejo das culturas, cerca de 343,5 MtCO₂, e pela redução de estoques de C do solo (585,2 MtCO₂), devido aos diferentes usos do solo, que se alternam ao longo do tempo.

Tabela 21: Emissões de CO₂, CH₄ e N₂O da agricultura acumuladas no período 2010-2030, expressas em CO₂eq, para o Cenário de Referência

Fonte	CO ₂	N ₂ O	CH ₄	Total
	MtCO ₂ eq			
Varição de estoques de C do solo	585,2	94,8	-	680,0
Energia fóssil	343,5	-	-	343,5
Fertilizantes	-	175,9	-	175,9
Resíduos de colheita	-	402,9	-	402,9
Queima da cana	-	12,0	86,5	98,5
Arroz alagado	-	-	347,1	347,1
Total	928,7	685,6	433,6	2047,9

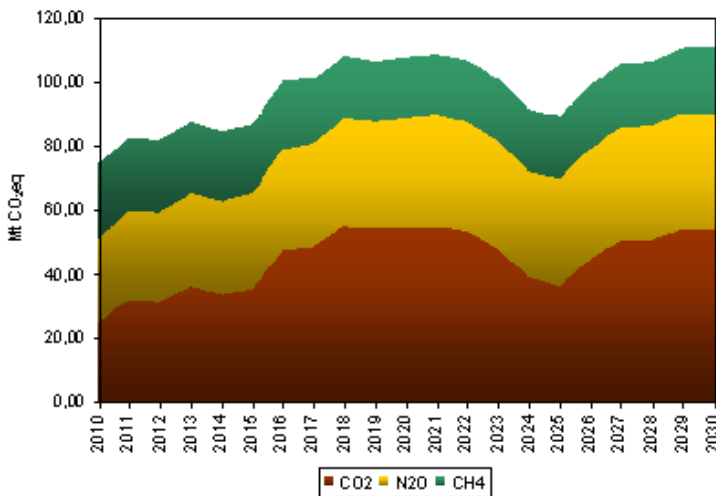
As emissões de N_2O somam 685,6 $MtCO_2eq$, das quais 175,9 $MtCO_2eq$ correspondem ao N adicionado ao solo por fertilizantes; 94,8 $MtCO_2eq$ pela mineralização do N do solo; 12,0 $MtCO_2eq$ derivados da queima de palha de cana; e 402,9 $MtCO_2eq$ pelo N de resíduos de colheita, sendo que os resíduos da soja contribuem com 51% desse total.

As emissões de metano foram estimadas em 433,6 $MtCO_2eq$, das quais apenas 86,5 $MtCO_2eq$ são originadas pela queima da cana-de-açúcar. Oitenta por cento das emissões de metano foram devidas ao cultivo de arroz em condições alagadas.

A Figura 14 mostra como as emissões de CO_2 , N_2O e CH_4 ocorreram ao longo dos anos, expressas em equivalentes de CO_2 . As maiores variações foram devidas às emissões de CO_2 pelo uso do solo. Essas emissões contabilizam também as emissões fósseis ao longo do tempo, mas que tendem a ser relativamente constantes em comparação às variações do CO_2 emitido pelo uso do solo. A redução de emissões pela queima para colheita da cana praticamente não alterou as emissões totais de CO_2eq .

Nota-se que, apesar das oscilações, as emissões crescem ao longo do tempo devido à expansão da área ocupada com lavouras, especialmente soja, cujo aumento da área plantada, principalmente sobre pastagens, exerce alta influência na redução de estoques de C do solo, emitindo CO_2 e N_2O . Além disso, como mencionado anteriormente, os resíduos dessa cultura contribuem com grande parte das emissões de N_2O .

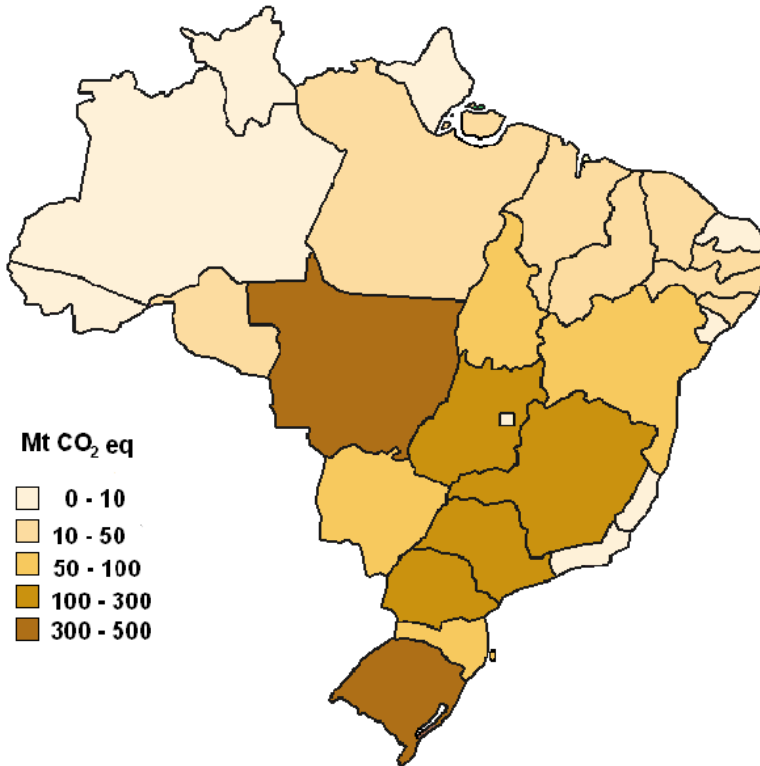
Figura 14: Emissões de CO_2 , N_2O e CH_4 da agricultura ao longo do período 2010-2030, expressas em equivalentes de CO_2 no Cenário de Referência



Os Estados do Mato Grosso e Rio Grande do Sul acumulam as maiores quantidades de GEE emitidas pela agricultura no período 2010-2030 (Mapa 7). No Rio Grande do Sul, as emissões de metano pela cultura do arroz alagado representam cerca de 50% desse total. Em Mato Grosso, as emissões decorrem dos diferentes usos agrícolas do solo. Os estados do Paraná, São Paulo, Goiás e Minas Gerais, onde a atividade agrícola

é intensa, também apresentam emissões totais na faixa de 100 a 300 MtCO₂eq. Em resumo, de 2010 a 2030 estima-se que as emissões totais pelo uso do solo com lavouras crescerão em torno de 42%, ou seja, de 74 MtCO₂eq para 111 MtCO₂eq.

Mapa 7: Emissão total de GEE em equivalentes de CO₂ (milhões de toneladas) para cada Unidade da Federação, decorrente do uso do solo com lavouras



2.1.5 Emissões advindas do desmatamento

O Brasil possui a maior extensão de florestas tropicais do mundo (representando 56% do território nacional – Tabela 22). Há uma grande diversidade de formações florestais ao longo do território brasileiro, distribuídas em seus seis biomas, sendo as principais as florestas tropicais (densas e abertas), que ocorrem principalmente no norte, florestas de araucária que ocorrem no sul, florestas estacionais (deciduais e semi-deciduais) que ocorrem principalmente no sudeste, floresta tropical atlântica com distribuição costeira, matas de Caatinga no nordeste, campinaramas no noroeste do estado de Amazonas e em Roraima, savanas e formações florestais diversas do Cerrado na região Central do País e florestas de produção que representam 1% da cobertura florestal do Brasil, inseridas principalmente no bioma Mata Atlântica. Possuindo a maior biodiversidade do planeta, as florestas brasileiras são vitais para

manutenção do equilíbrio ambiental em escalas regional e global, como a manutenção do regime de chuvas, fluxo de água doce, conservação da biodiversidade, preservação das culturas tradicionais e mitigação das mudanças climáticas.

Tabela 22: Uso do solo no Brasil entre 1990 e 2005

Tipo	1990 (mil km ²)	2000 (mil km ²)	2005 (mil km ²)
Florestas	5.200,27	4.932,13	4.776,98
Outros usos (agrícola, pecuária, urbano, infraestrutura, etc);	3.155,29	3.423,43	3.578,58
Lâminas d'água	195,32	159,32	159,32
Total	8.514,88	8.514,88	8.514,88

Fonte: IBGE (2006).

Contudo, as florestas brasileiras vêm passando por uma rápida conversão para outros usos (cerca de 420 mil km² nos últimos 20 anos³⁶). A Amazônia perdeu cerca de 18%, um total de 720 mil km² de sua floresta original entre 1970 e 2007 (INPE, 2009); o Cerrado cerca de 20% da sua área original entre 1990 e 2005 e a Mata Atlântica cerca de 8% no mesmo período (SOSMA, 2005). Dada a dimensão continental da área envolvida e a complexidade do território brasileiro, há uma diversidade de causas e processos envolvidos na conversão da cobertura de vegetação nativa. De modo geral, o desmatamento no bioma Cerrado durante o período supracitado é atribuído à expansão do cultivo de grãos e da pecuária (Machado et al., 2004; Eva et al., 2004; Ferreira et al., 2007), enquanto o desmatamento no bioma Mata Atlântica no mesmo intervalo teria ocorrido em função de processos de especulação imobiliária e do crescimento desordenado de grandes centros urbanos (Texeira et al., 2009). No tocante à Amazônia, as causas do desmatamento são complexas (Soares-Filho et al., 2008³⁷) e envolvem fatores socioeconômicos e políticos inter-relacionados em escalas regional, nacional e global (Soares-Filho et al., 2005; Nesptad et al., 2006). Entre as principais causas do desmatamento na Amazônia, consideram-se, originalmente, as políticas de colonização da região e os incentivos fiscais para o desenvolvimento de atividades que deflagraram intenso fluxo migratório para a Amazônia. Posteriormente, outros processos passaram a atuar (Soares-Filho et al., 2008), sendo eles a expansão do mercado internacional de produtos agropecuários apoiada pela valorização do Real frente ao Dólar; avanço da exploração madeireira e pecuária; expansão do agronegócio; desenvolvimento da infraestrutura com a abertura e pavimentação de estradas; e ausência e ineficácia de políticas estatais, incapazes de coibir o desmatamento ilegal e de regularizar a posse da terra na região (Soares-Filho et al., 2008).

Como resultado dessas vastas mudanças e apesar da recente redução nas taxas de desmatamento da Amazônia constatada pelo INPE desde 2005 (2009), um grande patrimônio em recursos florestais se encontra ameaçado (Tabela 23).

36 Cerca de 28,4 mil km²/ano.

37 Soares-Filho, B.S. et al. Nexos entre as dimensões socioeconômicas e o desmatamento: a caminho de um modelo integrado. In: Mateus Batistella; Diogenes Alves; Emilio Moran, (Org.). Amazônia. Natureza e Sociedade em Transformação. 1 ed. São Paulo: Edusp, 2008, v. 1.

Tabela 23: Risco de extinção das espécies florestais arbóreas no Brasil em 2000

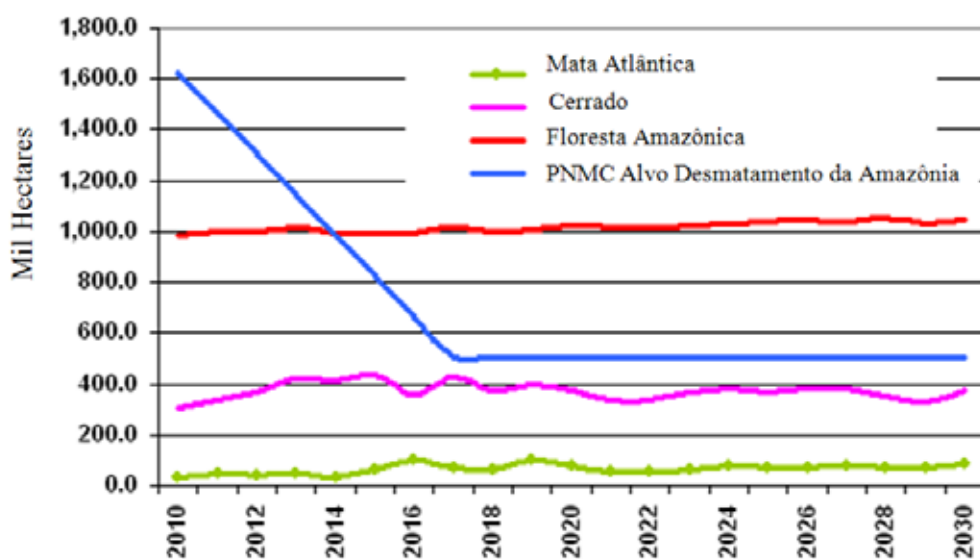
Tipos	Quantidade	%
Não ameaçadas de extinção	7.559	95,9%
Criticamente ameaçadas	34	0,4%
Ameaçadas	100	1,3%
Vulneráveis	187	2,4%
Total	7.880	100,0%

Fonte: FAO (2005)

O papel das florestas no tocante à emissão de CO₂, principal gás contribuinte para o efeito estufa, é central, uma vez que elas constituem grandes repositórios de carbono. Estima-se que as florestas brasileiras estoquem um total de cerca de 54 bilhões de toneladas de carbono. Nesse contexto, o desmatamento no Brasil é o processo que mais contribui para emissão de CO₂, totalizando 70% das emissões nacionais. A contabilidade das emissões do desmatamento leva o Brasil a ocupar o quinto lugar da lista de países emissores, representando 5% do total mundial (CAIT_WRI, 2007).

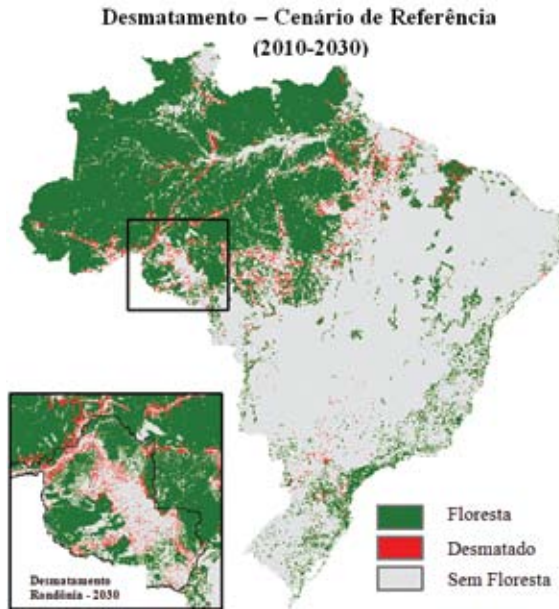
O desmatamento estimado no Cenário de Referência (Figuras 15 e Mapa 8) é superior àquele que seria advindo exclusivamente das projeções do Modelo BLUM. Conforme explicado na metodologia, o SIMBRASIL considera, além das projeções de demanda de terra por cultura, taxas de desmatamento para a Amazônia calculadas a partir do modelo de regressão por defasagem espacial. Isso objetiva incorporar o efeito indireto da expansão agrícola na dinâmica de uso do solo na Amazônia.

Figura 15: Dinâmica do desmatamento nos três principais biomas brasileiros sob o Cenário de Referência (km²/ano)



É importante assinalar que a modelagem para o Cenário de Referência não incorpora os possíveis efeitos dos novos objetivos de redução do desmatamento anunciados no Plano Nacional de Mudanças Climáticas, como no exemplo do cumprimento estrito do Código Florestal. Esses objetivos, assim como o cumprimento das novas leis sobre as áreas de preservação permanentes e as reservas legais, serão considerados no contexto de um cenário de legalidade que constitui um dos elementos do Cenário de Baixo Carbono proposto por este estudo e cujos resultados serão apresentados mais adiante.

Mapa 8: Desmatamento sob o Cenário de Referência (2010-2030)



Ao modelo espacialmente explícito de mudanças no uso do solo se acopla *online* um modelo de contabilidade de emissões do uso e mudança no uso do solo. Esse modelo incorpora para cada uso e, por conseguinte, a transição de uso do solo, uma tabela de emissão/remoção de carbono. Esses dados foram compilados de várias fontes. Na Amazônia foi utilizado um mapa de biomassa (Saatchi et al., 2007). Para o restante do país, foi feita uma compilação associando à cada fisionomia vegetal do mapa do PROBIO (MMA, 2007) um valor médio de biomassa de acordo com as recomendações do Inventário Brasileiro de Emissões (MCT, 2004). Já a remoção de CO₂ pelas florestas secundárias em regeneração e pelas florestas de produção foram estimados usando, respectivamente, os mapas de potencial de remoção de biomassa pela vegetação natural e silvicultura fornecidos pela Iniciativa Verde.

O cálculo das emissões por desmatamento, através da conversão de remanescentes em pastagens, foi efetuado a partir da metodologia do IPCC (2003). No caso, utiliza-se a diferença entre estoque de carbono da cobertura vegetal no tempo 1 e o estoque de carbono da cobertura no tempo 2, no caso as pastagens. A biomassa das diversas fisionomias vegetais varia espacialmente, sendo que foi construído (Mapa 9) um mosaico de estoque de carbono (ver imagem abaixo), adotado como base para os cálculos. Os valores para este mosaico variam entre 0 ton de C/hectare e 276,5 ton de C/hectare. Para as pastagens foi atribuído valor de 4 ton de C/hectare.

Mapa 9: Mosaico de estoque de carbono



Varição Anual da Biomassa Viva (Método Diferencial)

$$\Delta B = (B_{t_2} - B_{t_1}) / (t_2 - t_1)$$

Onde:

ΔB = Variação anual da biomassa viva, toneladas

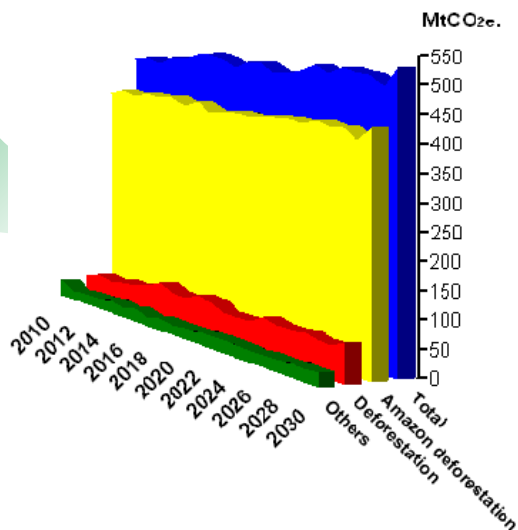
B_{t_2} = Biomassa no tempo t_2 , toneladas

B_{t_1} = Biomassa no tempo t_1 , toneladas

Esses dados foram compilados de várias fontes. Na Amazônia foi utilizado um mapa de biomassa (Saatchi et al., 2007). Para o restante do país, foi feita uma compilação associando à cada fisionomia vegetal do mapa do PROBIO (MMA, 2007) um valor médio de biomassa de acordo com as recomendações do Inventário Brasileiro de Emissões (MCT, 2004). Já a remoção de CO_2 pelas florestas secundárias em regeneração e pelas florestas de produção foram estimados, usando-se, respectivamente, os mapas de potencial de sequestro de biomassa pela vegetação natural e silvicultura fornecidos pela Iniciativa Verde.

As emissões por mudanças no uso do solo são responsáveis pelo balanço positivo obtido (Figura 16). Essas emissões são resultantes principalmente do desmatamento de remanescentes florestais. Ao desmatamento na Amazônia é atribuída participação de 66,4% a 81,3% nos valores totais de emissões por mudanças de uso do solo e 59% a 67% das emissões totais projetadas. Ao desmatamento na porção restante do território brasileiro é atribuída participação de 30,8% a 13,4% do total de emissões por mudanças. As emissões por mudança nos outros usos são atribuídas a outros tipos de conversão do solo, apresentando participação que varia entre 2,75% e 5% do total entre os anos inicial e final do estudo, chegando a uma participação máxima de 6,38% em 2010.

Figura 16: Emissões por mudança no uso do solo sob o Cenário de Referência



Legenda:
Amazon deforestation =
Emissões do desmatamento
na Amazônia
Deforestation: Emissões
do desmatamento em outros biomas
Other: emissões por
mudanças no uso do solo

2.2 Remoção de carbono por reflorestamento

Esta seção apresenta as bases de dados e uma visão do modelo utilizado para a análise de remoções de carbono por reflorestamento, realizada para avaliar as estimativas de potencial de remoção de carbono nos biomas do Cerrado e da Mata Atlântica. A sistematização de informação básica organizou as bases de dados em formato SHP, posteriormente exportadas para planilha no formato XLS.

Foi elaborado um modelo de biomassa vegetal potencial para os biomas do Cerrado e da Mata Atlântica, estimando o potencial de remoção de carbono atmosférico através da restauração florestal de áreas de preservação permanente e de áreas de reserva legal, estabelecendo potenciais de remoção de carbono por estes reflorestamentos para cada microrregião inserida nesses biomas. Paralelamente à aplicação deste modelo para recomposição de vegetação nativa, foi também estimado o potencial de remoção de carbono pela implantação de florestas energéticas, gerando o incremento médio anual (tCO₂e/ha/ano) também por microrregião.

2.2.1 Metodologia

2.2.1.1 Detalhamento do modelo de biomassa potencial

Os procedimentos de modelagem seguem o padrão descrito por Iverson et al. (1994), que desenvolveram um modelo espacial de potencial de remoção de carbono em florestas. Isso significa estimar a quantidade de biomassa vegetal potencial acima e abaixo do solo, excluindo as intervenções antrópicas e distúrbios naturais tais como fogo, tempestades e períodos de seca extraordinariamente longos. O modelo desenvolvido para remoção de carbono por reflorestamento assume que a densidade de biomassa vegetal que uma determinada região pode suportar depende das

condições climáticas, topográficas e edáficas, sem considerar o impacto cumulativo das atividades antrópicas tais como poluição, extração madeireira, mudanças no uso do solo, etc.

A aplicação deste modelo é resumida pela 42, contemplando a utilização de 4 camadas principais:

$$IBP = I(ICMW) + I(pluviosidade) + I(topografia) + I(solos) \quad (42)$$

Onde **ICMW** = Índice Climático Modificado de Weck (1970), que abrange valores como temperatura e duração da estação de crescimento; **Precipitação** = as médias pluviométricas anuais de cada localidade; **Topografia** = altitude e inclinação do terreno; **Solos** = classificados de acordo com a textura e fertilidade.

Para cada uma das camadas foi atribuído um índice (I) com valor máximo de 25 pontos, de forma que o valor máximo possível do modelo seria de 100 pontos. O índice climático e a precipitação média anual representam metade do IBP. As variáveis de altitude e inclinação formam a camada da topografia, sendo que a altitude recebeu uma pontuação máxima de 13 pontos e a inclinação, um máximo de 12. O tipo de solo (textura e fertilidade) representa os 25% restantes do modelo (Figura 17).

Figura 17: Diagrama de construção do modelo de potencial de fixação de carbono para os biomas do Cerrado e da Mata Atlântica



Camadas

Índice Climático Modificado de Weck

Weck (1961, *apud* WECK, 1970) desenvolveu um modelo empírico baseado em dados climáticos para verificar a produtividade potencial de florestas na Alemanha. Mais tarde, este pesquisador ampliou seu trabalho para a região tropical e desenvolveu a seguinte relação empírica ao seu índice (WECK, 1970) (Equação 43), conhecida como

Índice Climático de Weck (ICW):

$$ICMW = \frac{dt(S)(P_1 + \sqrt{P_2})(G)(H)}{100(Tm)} \quad (43)$$

Considere-se que dt (Celsius) é a diferença diurna entre as temperaturas média, máxima e mínima do mês mais quente da estação de crescimento; S (horas) é o comprimento médio do dia durante a estação de crescimento; P_1 (dm) é o número de meses nos quais a precipitação média anual é inferior a 200 mm; P_2 (dm) é o número de meses nos quais a precipitação média anual excede 200 mm; G (meses) é a duração da estação de crescimento, que corresponde ao número de meses sem ocorrência de déficit hídrico; H (%) é a média anual da umidade relativa do ar; e Tm (Celsius) é a temperatura média do mês mais quente da estação de crescimento. Este índice é baseado nas seguintes premissas:

1. Nos trópicos, a respiração é menor se a temperatura noturna for baixa (dt).
2. A produtividade líquida de biomassa é diretamente proporcional à duração do dia.
3. A relação entre a produtividade líquida e os valores de precipitação não é linear. Um aumento contínuo na precipitação acima de 2.000 mm/ano vai corresponder a uma diminuição sucessiva do aumento na produtividade líquida.
4. A produtividade líquida é diretamente proporcional à duração da estação de crescimento.
5. A produtividade líquida é diretamente proporcional à umidade relativa do ar (H) que, por sua vez, é altamente dependente dos valores de precipitação e da cobertura vegetal existente.
6. O efeito da precipitação pluviométrica na produtividade líquida é menor se a temperatura da estação de crescimento aumenta.

Ao aplicá-lo na estimativa de biomassa atual em florestas tropicais da Ásia, Iverson et al. (1994) modificaram o Índice Climático de Weck para a seguinte forma (Equação 44):

$$ICMW = \frac{S(P_1 + \sqrt{P_2})(G)(H)}{100(Tm)} \quad (44)$$

O índice modificado passou a ser utilizado por esses autores com base na evidência que, em florestas tropicais maduras, a proporção de produção de biomassa por unidade de área para densidade de biomassa é constante em todos os biomas ou regiões climáticas (Brown & Lugo 1982). Além disso, a biomassa total é resultado da integração da produção líquida em função do tempo para alcançar a maturidade.

Neste trabalho, como o objetivo é a determinação do potencial de biomassa, foi excluída do índice a variável umidade relativa do ar (H), por ser uma variável altamente correlacionada com a vegetação existente. Desta forma, o ICMW foi utilizado na seguinte fórmula simplificada (Equação 45):

$$ICMW = \frac{S(P_1 + \sqrt{P_2})(G)}{100(Tm)} \quad (45)$$

Estação de crescimento (G)

A estação de crescimento corresponde, na região tropical, aos períodos em que não ocorre déficit hídrico. Esta variável está fortemente associada aos períodos de seca, mas apresentando variações de acordo com a cobertura vegetal, tipo de solo e bacia hidrográfica. Como o propósito deste trabalho é fornecer uma estimativa da produção de biomassa vegetal nos biomas do Cerrado e da Mata Atlântica, optou-se por considerar como períodos de déficit hídrico os meses sem chuvas, por ser uma variável de fácil obtenção, apresentando elevada confiabilidade. Desta forma, a estação de crescimento (G) é definida como (Equação 46):

$$G = 12 - S \quad (46)$$

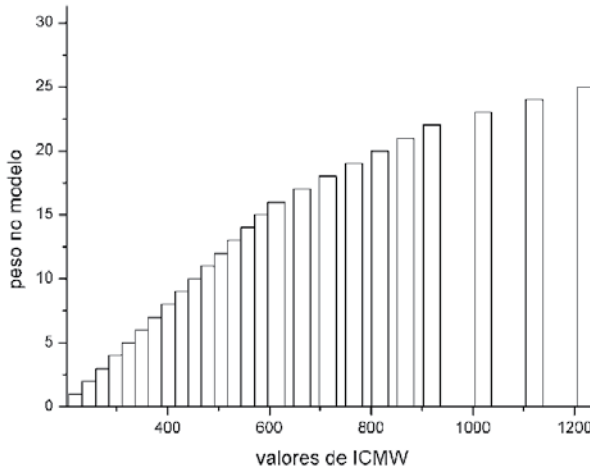
onde S = meses de seca; **Sem seca** – considerado como ausência de déficit hídrico; **Subseca** – período de déficit equivalente a um mês; **1 a 2 meses secos** – déficit equivalente a dois meses; **3 meses secos** = 3 meses de déficit; **4 a 5 meses secos** = considerado como 5 meses de déficit hídrico.

Solarimetria

Nesta camada foram utilizados os dados de insolação diária (horas) e duração média do dia (horas) durante a estação de crescimento. Essa camada, em conjunto com os dados de pluviosidade e temperatura, foi utilizada para gerar o Índice Climático de Weck (1970) Modificado.

Os valores de ICMW foram divididos de maneira não-linear em 25 classes. Mais valores foram agrupados nas classes inferiores porque a vegetação é mais sensível ao ICMW na extremidade seca; um padrão similar ao utilizado por Holdridge (1967). As 16 primeiras classes sofreram um incremento de 25 unidades; as 6 seguintes, um incremento de 50 unidades e as 3 restantes, um incremento de 100 unidades (Figura 18).

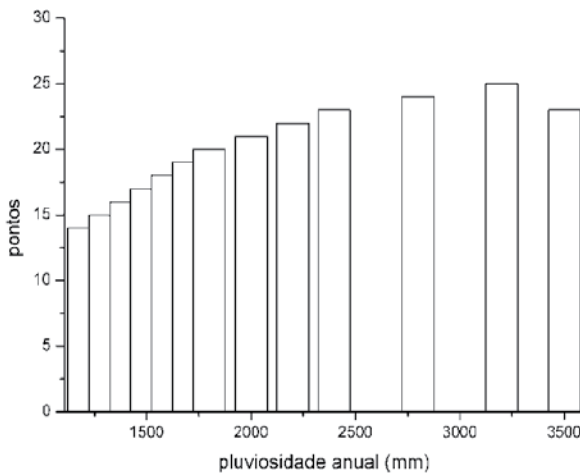
Figura 18: Peso atribuído aos valores de ICMW no modelo. Modificado de Iverson et al. (1994)



Pluviosidade

A correlação entre as classes de precipitação e a densidade de biomassa foi assumida como positiva até o valor de 3.200 mm/ano, a partir do qual essa correlação passa a possuir um efeito negativo na biomassa (Brown & Lugo, 1982). Segundo as observações de Brown et al. (1993), 400 mm anuais é o limite mínimo de suporte de formações arbóreas (Figura 19).

Figura 19: Peso atribuído aos valores de pluviosidade no modelo, segundo Iverson et al. (1994)



Altitude

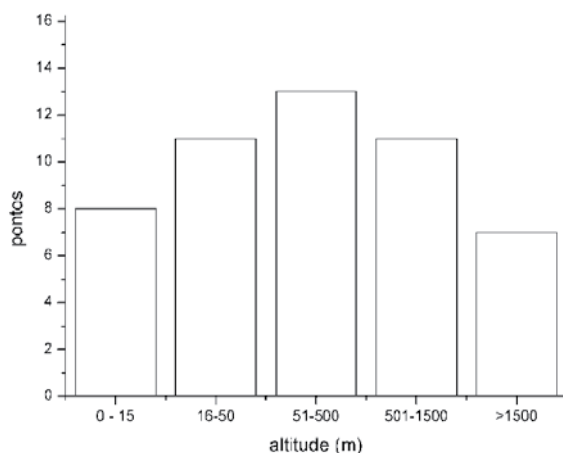
Como reportado por diversos autores, a zonação altitudinal altera os padrões de vegetação, principalmente através das variações climáticas associadas a cada classe de altitude. Por esse motivo, uma camada de altitude foi incluída em nosso modelo. As classes de altitude foram baseadas nas sugestões de Iverson et al. (1994), divididas em cinco classes, de acordo com as variações gerais da vegetação em função da altitude nos biomas do Cerrado e da Mata Atlântica:

107

- **0-15 m** - Floresta litorânea – mangue
- **16-50 m** - Formação de terras baixas
- **51-500 m** - Formação submontana
- **501-1.500 m** - Formação montana
- **+ 1.501 m** - Formação alto-montana

Os pesos atribuídos a cada classe de altitude estão representados na Figura 20. A classe de altitude 0-15 metros recebeu um peso menor devido ao fato de essas formações vegetais ocorrerem ao longo da costa e comumente possuírem valores de biomassa inferiores aos das florestas de terras baixas.

Figura 20: Peso atribuído às classes de altitude no modelo, modificado de Iverson et al. (1994)

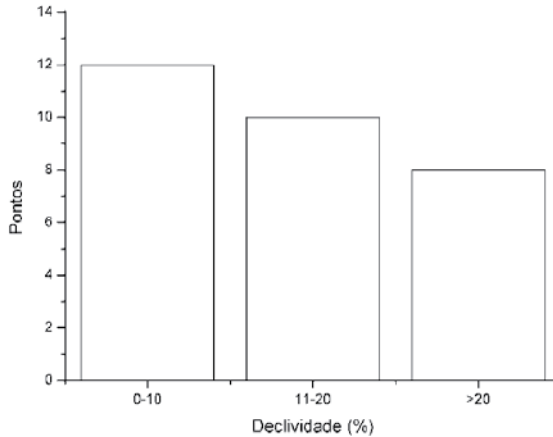


Declividade

Segundo Iverson et al. (1994), a declividade é uma das variáveis cuja correlação com a biomassa florestal é extremamente variável. Elevados valores de biomassa já foram encontrados em terrenos relativamente inclinados, quando comparados com os valores encontrados em áreas planas adjacentes. Dessa forma, a declividade do terreno

assume uma pontuação relativamente baixa neste modelo, variando de 12 pontos (inclinação até 10%) a 8 pontos (inclinações superiores a 20%) (Figura 21).

Figura 21: Peso atribuído aos graus de inclinação do terreno, modificado de Iverson et al. (1994)



Solos

Diversos fatores edáficos afetam os padrões de distribuição de biomassa em florestas tropicais (Whitmore, 1984). A produtividade florestal é geralmente relacionada à fertilidade do solo, mas esse potencial é muito mais afetado por fatores climáticos e textura, pois elevados valores de biomassa têm sido reportados na região amazônica, em florestas crescidas sobre solos pobres em nutrientes, mas com textura adequada (Laurance et al., 1999; Saatchi et al., 2007).

Entretanto, para padronizar o estudo, foi adotado nesse modelo o mapa de fertilidade de solos do Brasil do IBGE, onde os diferentes graus de fertilidade assumiram os valores apresentados na Tabela 24.

Tabela 24: Pontuação das diferentes classes de fertilidade IBGE

Pontos	Fertilidade
25	Média a alta
22	Média
18	Média a baixa
15	Baixa
12	Baixa a muito baixa
7	Muito baixa

Desta forma, para o desenvolvimento e aplicação do modelo, as seguintes camadas de dados tiveram que ser geradas:

- Camada de pluviosidade;
- Camada de solarimetria;
- Camada de solos;
- Camada de temperatura;
- Camada de estação de crescimento;
- Camada de Índice Climático Modificado de Weck;
- Camada de altitude;
- Camada de declividade.

Bases de dados utilizadas no modelo

O banco de dados ambientais consiste no conjunto de *grids* (matrizes georreferenciadas) padronizados para sobreposição de camadas, e conta com dados auxiliares em formato vetorial, tais como hidrografia, limites oficiais dos biomas do Cerrado e Mata Atlântica, divisão política do território e mapeamento oficial de ecossistemas brasileiros.

As fontes utilizadas nos bancos de dados vêm de diferentes origens. O banco de dados ambientais armazena informações extraídas ou processadas a partir de dados da cartografia oficial (IBGE), de mapas temáticos (Embrapa e JRC) e de modelos espaciais (SRTM, WorldClim).

Banco de dados ambientais

A disponibilidade de dados para formação das camadas de variáveis ambientais para o Brasil em 2008 é muito maior que a disponibilidade de dados encontrada por Brown & Iverson (1994) para o sudoeste asiático, ou por Brown & Gaston (1995) para a África tropical; atualmente, para o Cerrado e Mata Atlântica, estão disponíveis dados em maior resolução espacial e maior diversidade temática. Duas importantes fontes, que eram indisponíveis na década de 1990 e hoje estão disponíveis para quase todo o globo são a base de topografia SRTM e de climatologia WorldClim.

A Base SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) consiste em um levantamento topográfico realizado por meio de radares orbitais. A missão topográfica internacional foi liderada pela NASA, e as medidas foram realizadas no ano de 2000. O modelo digital de terreno resultante tem resolução espacial aproximada de 60 m e erro de $\pm 6,2$ m na América do Sul.

A base de dados WorldClim foi desenvolvida pela Universidade da Califórnia e publicada em 2005. Dados de dezenas de milhares de postos meteorológicos ao redor do planeta foram georreferenciados e interpolados, resultando em mapas climatológicos derivados de dados de temperatura e precipitação. A base oferece 55 *grids* que descrevem para cada mês do ano: temperatura mínima, temperatura máxima

e precipitação, além de 19 variáveis bioclimáticas de relevância para modelagem ecológica. Os *grids* recobrem quase todo o globo, exceto as regiões polares, com resolução espacial de 30”.

Apesar de se tratar de uma base de consistência consagrada pela comunidade científica internacional, consideramos a possibilidade de que um trabalho desenvolvido especificamente para a área de estudo pudesse oferecer maior acurácia. Assim, decidiu-se por auditar os dados do WorldClim com o objetivo de avaliar sua acurácia na área de estudo. Paralelamente, foi auditada a reamostragem do modelo digital de terreno SRTM para a grade de 30”.

O roteiro de auditoria WorldClim incluiu os seguintes passos:

1. Tabulação de dados climáticos disponibilizados pela base da EMBRAPA “Banco de dados climáticos do Brasil” para 35 pequenas cidades regularmente distribuídas ao longo da Zona 34 do WorldClim, zona em que se insere a área de estudo. Deste grupo inicial foram sorteados 17 postos meteorológicos, e estes foram descritos quanto a: coordenadas, altitude, temperatura média, precipitação anual e número de meses com precipitação inferior a 50 mm.

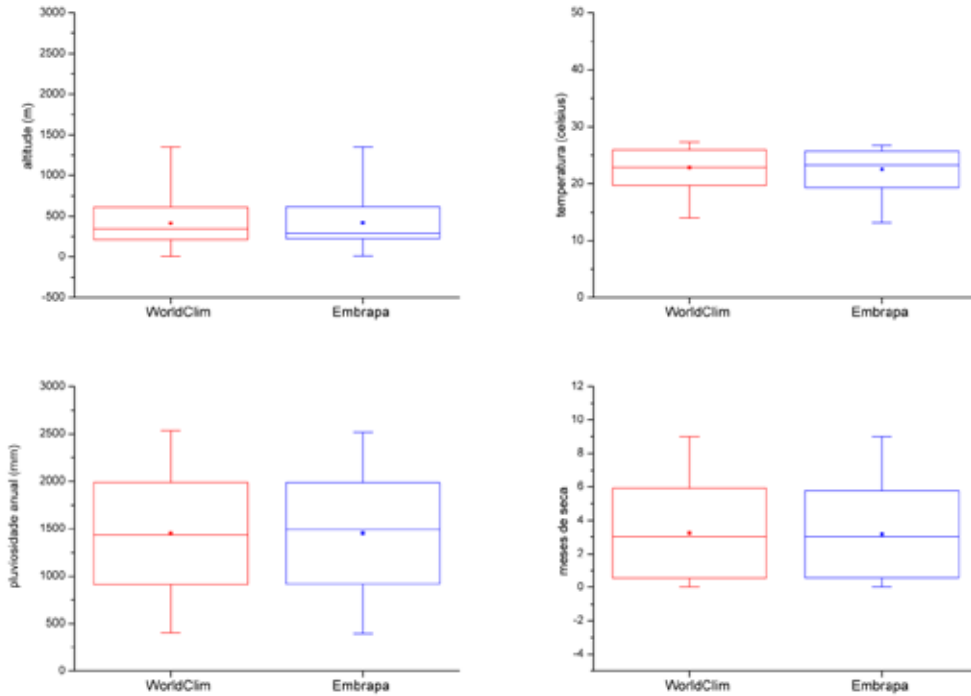
2. Consulta do WorldClim para os valores das células (pixels) que incluem as coordenadas dos 17 postos meteorológicos selecionados. Os valores consultados foram: altitude (reamostrada de SRTM), temperatura média, precipitação anual, número de meses com precipitação inferior a 50 mm (esta última camada foi produzida pela reclassificação da precipitação de cada mês [valor < 50mm=1, valor > 50mm=0] e pela somatória de todos os meses do ano).

3. Os valores foram confrontados e foram realizados testes comparando os valores (ANOVA).

Todas as consultas ao WorldClim, análises de reclassificação e sobreposição, foram conduzidas no software ArcView 9.3.

Para todas as comparações realizadas, a base de dados do WorldClim não é estatisticamente diferente da base de dados ambientais da Embrapa (teste de Levene, $p > 0,92$). Desta forma, a base do WorldClim pode ser utilizada neste esforço de modelagem, como pode ser observado na Figura 22.

Figura 22: Gráfico de box-plot onde pode ser observada a distribuição dos valores de altitude, temperatura, pluviosidade e meses de déficit hídrico para as bases de dados da EMBRAPA e do WorldClim



As variáveis ambientais consideradas como descritoras da variação de biomassa potencial foram organizadas em camadas matriciais (*grids*) medindo 30° de latitude por 30° de longitude. A resolução espacial é de 30 segundos (0,93 km no equador), resultando em um *grid* de 3.600 X 3.600 células. Foi adotado o datum WGS84, uma vez que oficialmente o Brasil está aposentando o uso de SAD69 e adotando o SIRGAS. O datum WGS84 é padrão para o WorldClim e para o SRTM, e apresenta apenas cerca de 1cm de diferença para o SIRGAS (Tabela 25).

Tabela 25: Entrada de camadas no banco de dados ambientais

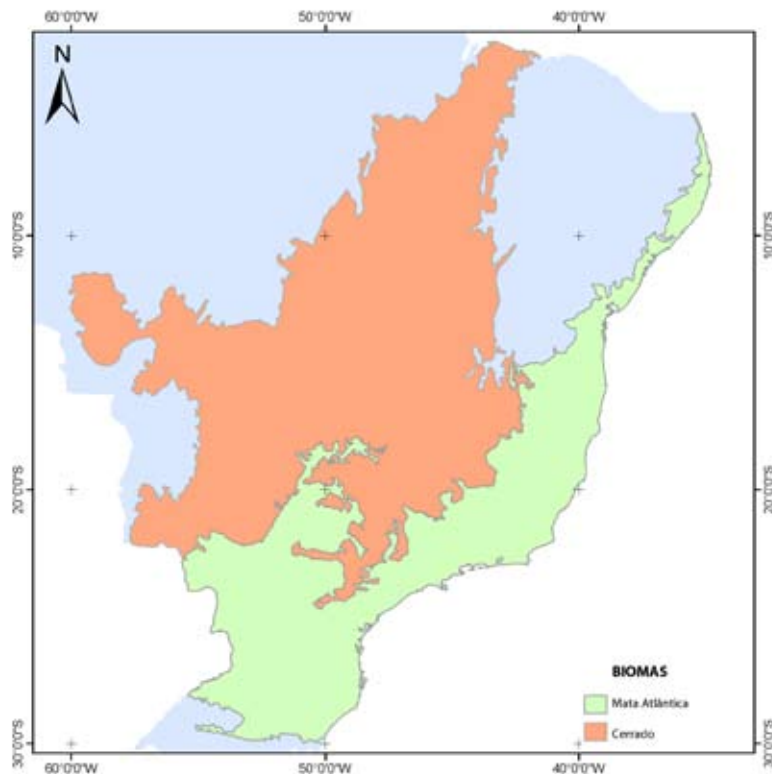
ID	Variáveis	Unidade	Base
	I Modelo Digital de Terreno		
1	Altimetria	(m)	SRTM-NASA
2	Declividade	(%)	SRTM-NASA
	II Precipitação		
3	Precipitação anual	(mm)	Wordlclim
4	Duração de estiagem	(mês)	Wordlclim
5	Precipitação mensal > 2m - 2m	(mês)	Wordlclim
6	Precipitação mensal < 2m, >2m=2	(mês)	Wordlclim
	III Temperatura		
7	Temperatura média do mês mais quente	(°C)	Wordlclim
	IV Solarimetria		
8	Insolação diária	(h)	Atlas solarimétrico
	V Solo		
9	Fertilidade	classes	IBGE/EMBRAPA
	VI Cobertura do solo		
10	Mapa de cobertura vegetal do Brasil	(FAO)	JRC / EMBRAPA
	VII Dados complementares		
11	Limites dos biomas de interesse		IBGE

Bases de dados – Mapas

Os biomas

O estudo se limita à abrangência dos biomas Cerrado e Mata Atlântica. Segundo o IBGE, o bioma Cerrado possui uma área de 2.063.001 km² e o bioma Mata Atlântica abrange 1.112.170 km². Esses biomas possuem fisionomias florísticas bem distintas, sendo que na Mata Atlântica predominam as formações arbóreas, e no Cerrado são frequentes as savanas e os campos cerrados, apresentando, portanto, potenciais de remoção de carbono bem distintos. O Mapa 10 apresenta os limites dos biomas do Cerrado e da Mata Atlântica.

Mapa 10: Limites do Cerrado e da Mata Atlântica, extraídos do Mapa de Biomas Brasileiros, produzido em 2004 pelo IBGE em cooperação com o Ministério do Meio Ambiente. Este mapa indica os limites adotados para área de estudo

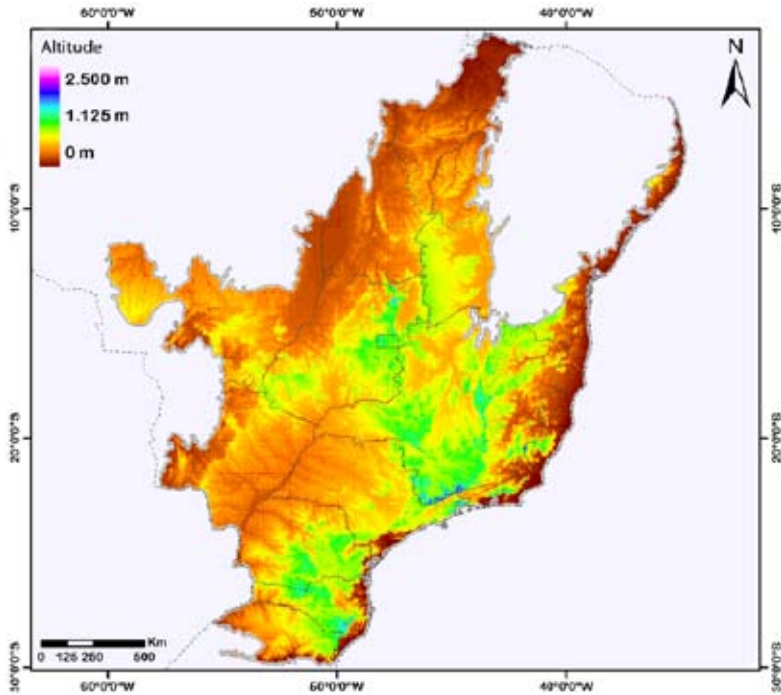


Altitude

A relação entre altitude e densidade de biomassa não é linear: os valores extremos de altitude teriam valores baixos de densidade de biomassa potencial, como em formações costeiras e topos de serras. O efeito de grandes altitudes tende a ser pouco marcante na área de estudo, uma vez que o Brasil apresenta altitude média baixa e altitudes máximas bem abaixo do limite para formações florestais (3.750m).

A faixa altitudinal de grande produtividade de biomassa estaria entre 16 e 750 metros, o que inclui quase todo o Brasil. Apenas as áreas em azul intenso ou em marrom sofreriam algum tipo de restrição para desenvolvimento de biomassa (Mapa 11).

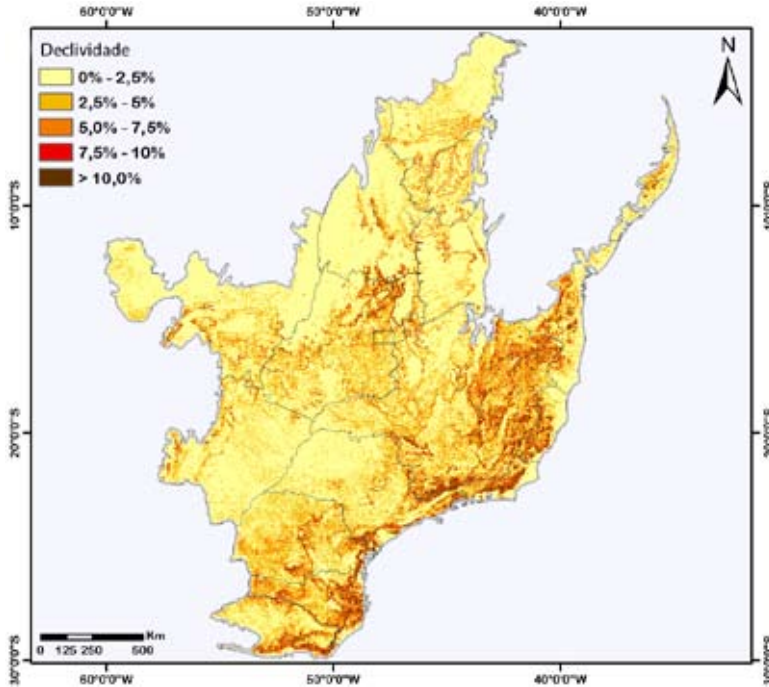
Mapa 11: Altimetria baseada no modelo digital de terreno SRTM. Os dados originais oferecem a altitude média com resolução de 3". O modelo apresentado foi reamostrado para 30"



Declividade

Segundo Iverson et al. (1994), grandes valores de densidade de biomassa também podem ser encontrados em áreas de declive acentuado, mas existe uma tendência de que áreas mais planas apresentem densidades médias superiores às de áreas em declive. Estas áreas mais planas estão representadas pelos tons de verde no Mapa 12.

Mapa 12: Declividade em porcentagens baseada no modelo digital de terreno reamostrado para 30". Os baixos valores de declividade encontrados se justificam pelo efeito suavizador da reamostragem para 30"; não se tratando portanto de um modelo de declividade média

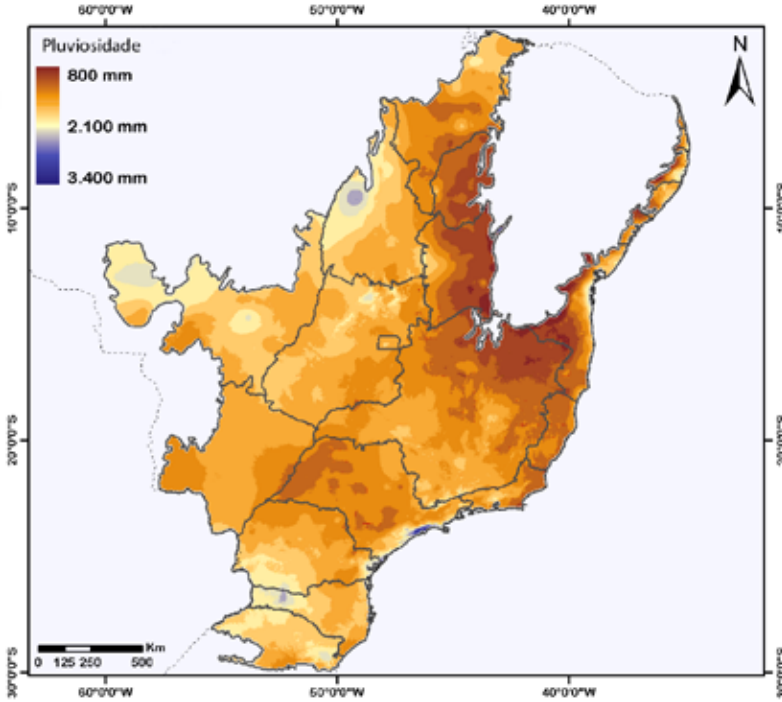


115

Pluviosidade

Esta é uma das variáveis principais para modelagem de biomassa potencial. A Metodologia proposta por Iverson et al. (1994) prevê duas entradas para esta variável: a precipitação média anual participa do índice climático modificado de Weck e entra isoladamente na sobreposição final (Mapa 13).

Mapa 13: Precipitação anual média em milímetros, derivada da base de dados climáticos WorldClim. A precipitação anual possui relação direta com a produtividade potencial; a densidade de biomassa tende a ser maior nos tons azulados do que nos tons avermelhados



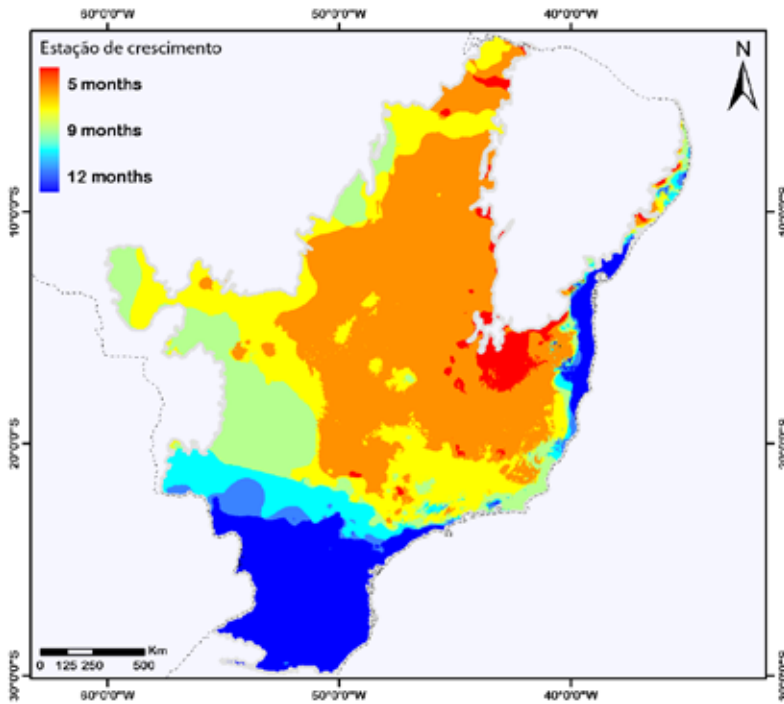
Segundo Iverson et al. (1994), o incremento de precipitação acima de 3.000 mm teria efeito negativo sobre a produtividade de biomassa. Porém, na área de estudo, os valores de precipitação anual não ultrapassam os 3.000 mm.

Estação de crescimento

A estação de crescimento corresponde ao número de meses onde a pluviosidade mensal é superior a 50 mm. Durante esses períodos de baixa disponibilidade hídrica as plantas fecham os estômatos para evitar a perda de umidade, e muitas vezes perdem as folhas. Durante esse período não há ou é mínima a absorção de CO₂ da atmosfera, ou seja, quase não ocorre crescimento vegetal.

No bioma Cerrado a estação de crescimento apresenta a duração máxima de 9 meses, como em Campo Grande e Cuiabá; a duração predominante é de 7 meses, como em Brasília, Goiânia e Belo Horizonte. Os Valores menores que 5 estão associados à Caatinga, portanto fora da área de estudo (Mapa 14).

Mapa 14: Duração da estação de crescimento indicada pela somatória de meses com precipitação superior a 50 mm obtidos no modelo climático do WorldClim



Na Mata Atlântica os valores encontrados para os meses de crescimento são em média bem mais elevados que os do Cerrado, embora variem bastante. Algumas regiões de Mata Atlântica apresentam valores baixos, como a faixa entre a cidade do Rio de Janeiro e Belo Horizonte e a faixa entre Aracaju e Maceió.

Este *grid* foi calculado com base no mapa anterior de forma a incorporar a variação da distribuição das chuvas no ICMW.

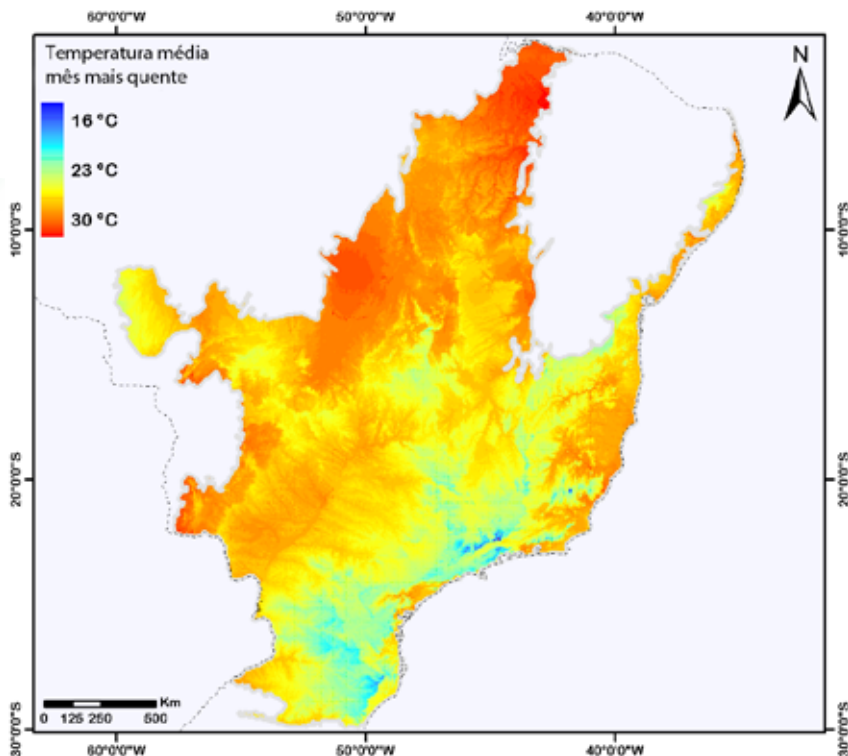
O Índice Climático Modificado de Weck preconiza que a duração do período de crescimento é diretamente proporcional à produtividade líquida. Na fórmula abaixo (ICMW) a letra “G” representa o número de meses da estação de crescimento (Equação 47).

$$ICMW = \frac{S(P_1 + \sqrt{P_2})(G)(H)}{100(T_m)} \quad (47)$$

Temperatura média do mês mais quente do ano

Esta camada leva em consideração a média de temperatura do mês mais quente da estação de crescimento. Ela influi negativamente no potencial de remoção de carbono, pois quanto maior a temperatura, maior a respiração e menor a absorção líquida de CO₂ (Mapa 15).

Mapa 15: Temperatura média do mês mais quente do ano em graus Celsius

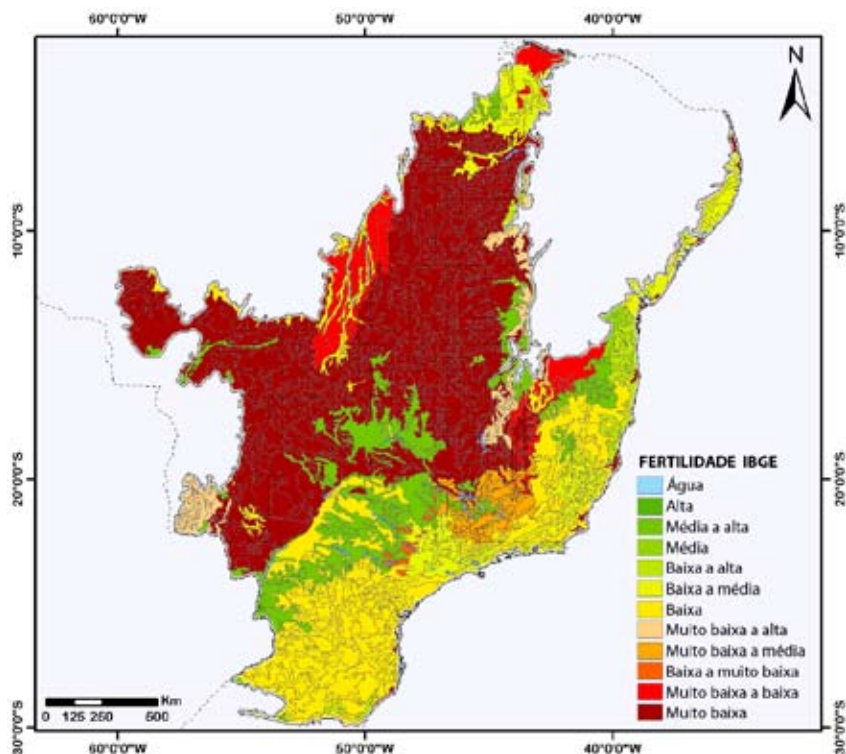


Base de dados – Solos

O mapa de solos utilizados foi o mapa de fertilidade produzido pelo IBGE. Para a maior parte das classes é possível aplicar uma organização hierárquica de fertilidade, que seria diretamente proporcional à contribuição do componente edáfico na biomassa potencial.

Nota-se que a predominância de solos de “fertilidade muito baixa” no Cerrado é muito grande, superior a 70%. Já na Mata Atlântica, esta classe é bastante rara, estando associada às regiões costeiras. Este fato sugere alta correlação Fertilidade x Biomassa Potencial. Por outro lado, os solos mais férteis da Bacia do Rio Paraná se dividem igualmente entre o Cerrado e a Mata Atlântica (Mapa 16).

Mapa 16: Mapeamento de fertilidade dos solos do Brasil

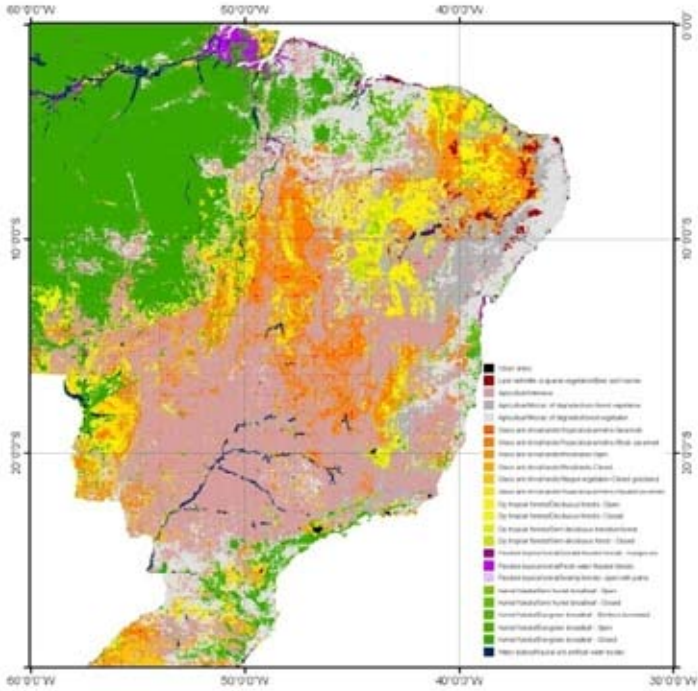


Base de dados – cobertura vegetal

Este mapa apresenta a classificação da cobertura do solo brasileiro; tanto a classificação de áreas antrópicas quanto a classificação de áreas naturais seguem a legenda do sistema FAO. Este mapeamento foi realizado pela EMBRAPA como parte integrante do GLS2000 (Global Landcover 2000), projeto do *Joint Research Center* incumbido de gerar uma acurada base de cobertura do solo para Convenções internacionais (Mudanças Climáticas, Combate à Desertificação, Ramsar e Protocolo de Kyoto), servido como registro de partida (Mapa 17).

Nota-se a predominância de áreas agrícolas nos biomas em foco. Na legenda da FAO, as fisionomias de Cerrado se enquadram nas classes de savana, não caracterizando formação florestal na maior parte dos remanescentes. Para a região do bioma Mata Atlântica, as áreas naturais são classificadas principalmente como florestas úmidas e florestas alagadas, mas também apresenta savanas. Este mapa não participa diretamente do cálculo de IBP, mas é um referencial para calibração, pois indica a distribuição de biomassa potencial ainda que muito mascarada pela pressão antrópica.

Mapa 17: Mapa de cobertura vegetal do Brasil no ano 2000



Mapa 18: Mapa de ecossistemas brasileiros, IBGE. Este mapeamento apresenta uma estimativa da distribuição das formações vegetais “originais” em legenda simplificada, indicando faixas de transição

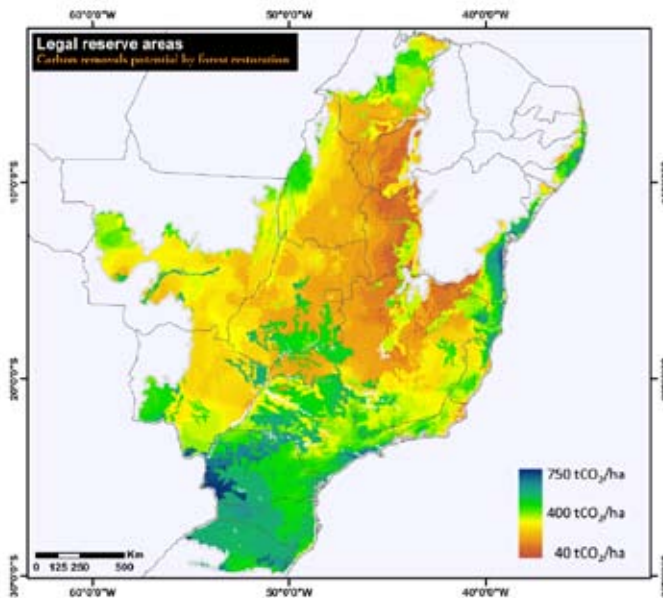


2.2.1.2 Potencial de remoção de carbono através do restauro das Reservas Legais

O potencial de remoção de carbono no bioma da Mata Atlântica variou de 183 a 661 tCO₂e/ha. De maneira geral, as microrregiões que apresentaram o maior potencial se localizam na região Sul e no estado de São Paulo, mais especificamente na Serra do Mar. Como esperado, os menores potenciais se localizaram nas microrregiões com maior déficit hídrico, e consequentemente, uma estação de crescimento menor, como em Sergipe. Para o bioma Cerrado, o potencial de remoção de carbono variou de 195 a 467 tCO₂e/ha em Minas Gerais e Mato Grosso do Sul, respectivamente (Mapa 19).

121

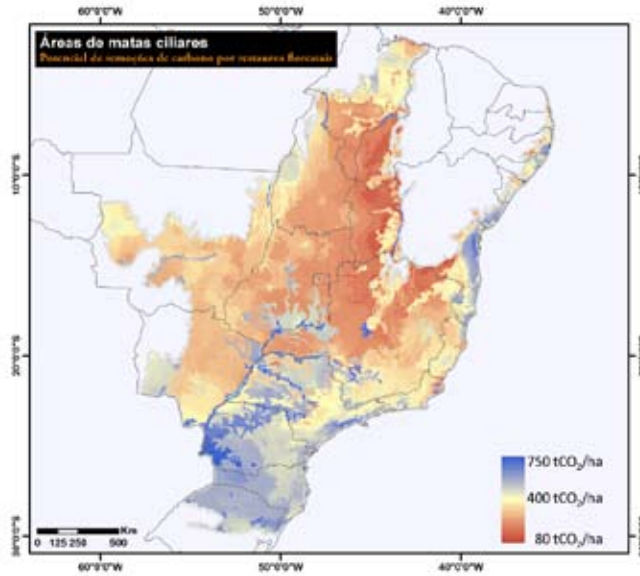
Mapa 19: Mapa de potencial de remoção de carbono através da restauração florestal de Reserva Legal nos biomas do Cerrado e da Mata Atlântica, em tCO₂/ha



2.2.1.3 Potencial de remoção de carbono através do restauro das Matas ciliares

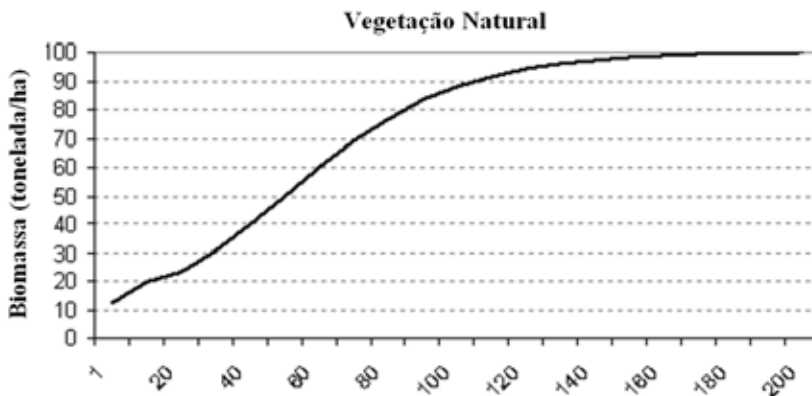
Para o potencial de remoção de carbono em matas ciliares no bioma Mata Atlântica, o menor valor foi observado no Estado de Sergipe (231 tCO₂/ha) e o maior valor no Paraná (720 tCO₂/ha). Para o bioma Cerrado, esse potencial de remoção de carbono variou de 220 a 552 tCO₂/ha nas microrregiões de Barra (BA) e Ituverava (SP), respectivamente (Mapa 20).

Mapa 20: Mapa de potencial de remoção de carbono através da restauração florestal de matas ciliares nos biomas do Cerrado e da Mata Atlântica, em tCO₂/ha



A remoção pela vegetação florestal só foi considerado fora da floresta amazônica, tendo em vista a incerteza da floresta amazônica quanto ao seu balanço natural de carbono (Nobre, et al. 2001). No entanto, é considerável o papel das florestas secundárias nos domínios dos biomas Cerrado e Mata Atlântica, porquanto em grande parte esses remanescentes constituem florestas secundárias de cerca de 50 a 60 anos. Foi assumida uma função logística para o cálculo do acúmulo potencial da biomassa que considera a localização da parcela, idade corrente e idade de clímax. Para as florestas naturais, essa última variável assume 200 anos (Figura 23), enquanto para os reflorestamentos são considerados 20 anos. A remoção anual, portanto, leva em conta a regeneração dessas florestas em idade média inicial de 60 anos.

Figura 23: Função logística da remoção de biomassa que usa como parâmetros o potencial local de biomassa e a idade da vegetação. O potencial local nesse exemplo é igual a 100 t/hectares



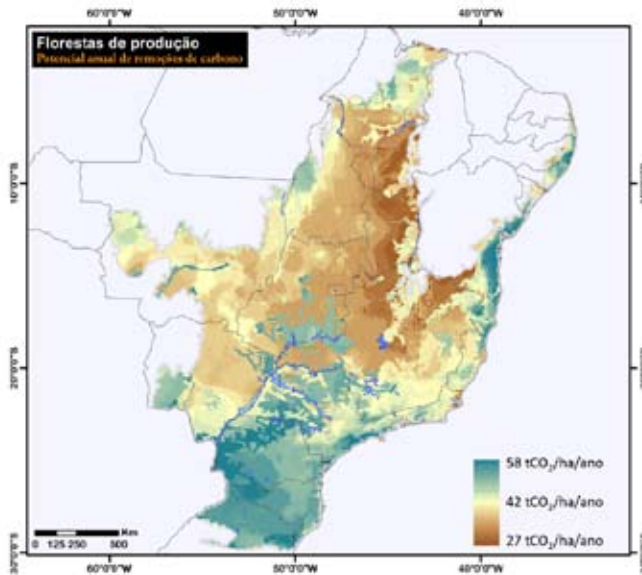
2.2.1.4 Potencial de remoção de carbono através do plantio de florestas energéticas nos biomas do Cerrado e da Mata Atlântica

Os valores de absorção de CO₂ para as florestas energéticas foram balizados nos dados de produtividade obtidos no CCAP (2006), que apresenta os valores mínimos e máximos de produtividade (tCO₂/ha/ano) para este tipo de reflorestamento no Brasil. Embora os dados da ABRAF (2007) apresentem valores de produtividade média significativamente mais elevados, neste primeiro momento eles foram desconsiderados da modelagem, pois incorporam práticas de manejo e correção do solo que não foram sintetizadas neste modelo (Mapa 21).

De maneira geral, os menores valores foram observados na região Nordeste do Brasil, assumindo o valor mínimo de 29,85 tCO₂/ha/ano na microrregião de Brumado, na Bahia. A média da região Nordeste ficou em 39,83 tCO₂/ha/ano.

No outro extremo, os maiores potenciais de remoção anual de carbono foram observados no estado do Paraná, na microrregião de Capanema. A média da região Sul do país ficou em 48,45 tCO₂/ha/ano, enquanto que a média da região Sudeste ficou em 41,28 tCO₂/ha/ano.

Mapa 21: Produtividade silvicultural (tCO₂/ha/ano) para os biomas do Cerrado e da Mata Atlântica



2.2.2 Cenário de Referência para o Restauo Florestal

Mesmo com a presença de linhas de financiamento para recomposição de mata nativa a juros reduzidos, a recomposição desse tipo de vegetação não tem sido adotada voluntariamente. Para a maioria dos proprietários rurais, o reflorestamento ou mesmo o simples isolamento das áreas de matas ciliares ou de reserva legal implica em perda

de áreas produtivas. Mesmo com financiamento a fundo perdido, os produtores resistem em ceder as áreas de APPs para restauro florestal e consequente eliminação desse passivo ambiental. Isso é especialmente evidente em pequenas propriedades rurais, onde as áreas de preservação permanente podem ocupar grande parte da propriedade. De maneira geral, as restaurações florestais ocorrem, na maioria das vezes, por obrigações judiciais, como termos de ajuste de conduta e compensações florestais.

Desta forma, na escala deste estudo, pode ser considerado como negligível a evolução da restauração de matas nativas no Cenário de Referência. A maior iniciativa privada deste tipo no estado de São Paulo, a restauração florestal de 12,7 mil hectares de matas ciliares a ser implementada pela AES Tietê ao longo das bordas dos reservatórios dos quais é concessionária para a geração de energia elétrica, tem implementado essas restaurações a uma taxa de 250 hectares/ano³⁸. Do lado público, o maior esforço de recomposição vegetal nativa vem do Governo de São Paulo, por meio do Projeto de Recuperação de Matas Ciliares (PRMC), que conta com recursos do Fundo Mundial do Meio Ambiente (GEF) e prevê a recuperação de 1.500 hectares de matas ciliares. Juntas, essas duas iniciativas não chegam a cobrir 1,5% do déficit presente no Estado, que ultrapassa 1 milhão de hectares.

Na base destas observações, foi determinado que a contribuição da restauração florestal no Cenário de Referência é bastante limitada do ponto de visto quantitativo, embora as experiências vigentes sejam essenciais do ponto de visto qualitativo para entender como superar as barreiras identificadas.

2.2.3 *Carvão vegetal não-renovável e florestas de produção para carvão vegetal renovável*

A construção do Cenário de Referência para a utilização adicional de carvão vegetal renovável foi baseada na análise de dois grupos de fatores causais, e de seus respectivos impactos na participação dos três agentes termo-redutores na produção siderúrgica brasileira. O primeiro grupo, definido como grupo principal, constitui o eixo fundamental da análise, qual seja a manutenção generalizada das diversas barreiras identificadas, que incluem barreiras de investimento, barreiras gerenciais, institucionais, tecnológicas e falhas de mercado. O segundo grupo de premissas, definido como grupo auxiliar, está subordinado ao primeiro e se refere ao grau de coibição ou controle legislativo sobre o uso de carvão vegetal não-renovável. Nesse grupo foram analisados dois tipos de sub-cenários: (i) a vigência de uma estrutura legislativa na qual há tolerância ao uso em larga escala de carvão vegetal não-renovável e (ii) a vigência de uma estrutura legislativa restritiva, na qual prevalece um baixo nível de tolerância de uso em larga escala de carvão vegetal não-renovável.

O primeiro grupo de premissas diz respeito ao grau de escassez de carvão vegetal renovável e coloca em evidência a oferta insuficiente do insumo, na ausência de políticas e incentivos adicionais. Já o segundo grupo de premissas tem como objetivo auxiliar em uma determinação aproximada de qual seria o agente termo-redutor utilizado em um cenário de forte escassez de carvão vegetal renovável, ou seja, carvão mineral ou carvão vegetal não-renovável. Nesse sentido, o segundo grupo cumpre somente um papel auxiliar, na medida em que a falta de estoques adicionais de florestas

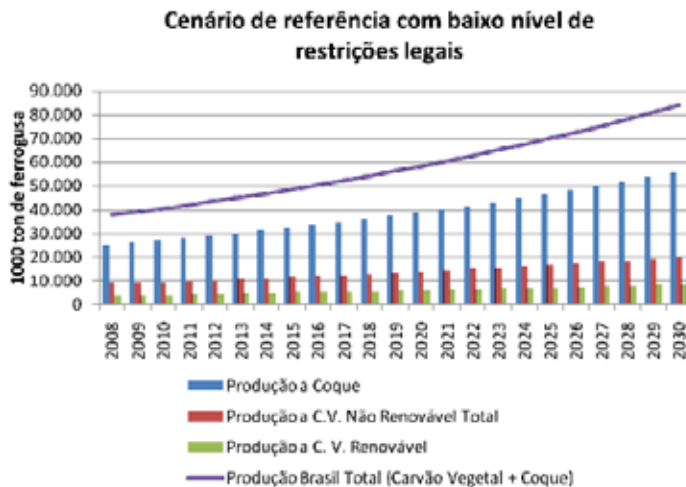
38 http://www.aestiete.com.br/content/doc/ANEXO_III_Reflorestamento.pdf

plantadas, evidenciadas por meio do primeiro grupo de premissas, já é um forte indicador da ocorrência de emissões líquidas de GEE e a não ocorrência de remoções líquidas. Essencialmente, a discussão sobre esses dois sub-cenários legais serve somente para se ter uma referência primária sobre qual seria a fonte específica das emissões a serem evitadas num Cenário de Baixo Carbono.

A partir desses grupos de premissas, foram identificados dois possíveis Cenários de Referência, que são apresentados a seguir:

A. O Cenário de Referência com baixo nível de restrições legais: Nesse Cenário de Referência adotou-se o grupo principal de premissas em combinação com o sub-cenário (i) do grupo auxiliar, ou seja, escassez de floretas plantadas combinada com um baixo nível de restrições legais. Como resultado, assumiu-se que um crescimento de 3,7% ao ano do setor siderúrgico seria condizente com a atual participação de agentes termo-redutores no mercado³⁹ em que 66% do processo de termo-redução necessário para a produção de ferro e aço continuariam baseados no uso de coque; 24% no uso de carvão vegetal não-renovável; e 10% no uso de carvão vegetal renovável, tal como ilustrado na Figura 24, abaixo:

Figura 24: Cenário de Referência para o carvão com baixo nível de restrições legais: participação de agentes termo-redutores no mercado siderúrgico brasileiro.



Fonte: Pesquisa na AMS, IBGE, ABRAF, Sindifer

Portanto, o déficit de carvão vegetal renovável aumentaria em termos absolutos, apesar de um crescimento absoluto modesto na área plantada, em função da distribuição proporcional ao longo do tempo.

B. O Cenário de Referência com alto nível de restrições legais: Nesse Cenário de Referência adotou-se o grupo principal de premissas em combinação com o sub-cenário (ii) do grupo auxiliar de premissas: escassez de florestas plantadas para produção de carvão vegetal renovável combinada com um alto nível de restrições

³⁹ Conforme estimativas apresentadas no relatório sobre outros temas deste Estudo. A premissa de crescimento de 3,7% ao ano foi adotada com base no Plano Nacional de Energia.

legais. Como resultado das crescentes restrições legais ao uso de carvão vegetal não-renovável, assumiu-se a redução gradual do uso desse termo-redutor até a sua completa eliminação a partir de 2017. Esse cenário se baseia na crescente tendência de coibição legal do uso de carvão vegetal não-renovável, observada em todo o país, e especialmente identificada no estado de Minas Gerais, que é responsável por mais de 60% (SINDIFER) da produção siderúrgica a carvão vegetal no Brasil⁴⁰.

Apesar de esse cenário já levar em consideração o aumento de rigor na legislação aplicável ao uso de carvão vegetal, deve-se ressaltar que a prevalência do grupo principal de barreiras faz com que a escassez de florestas plantadas continue. Nesse sentido, a parte do mercado que se baseava em carvão vegetal não-renovável passaria a ser baseada no uso de carvão mineral. Esse cenário está ancorado na premissa econômica de que a simples coibição do uso de carvão vegetal não-renovável não gera automaticamente um aumento relativo na oferta de carvão vegetal renovável. A Figura 25, abaixo, ilustra o Cenário de Referência com alto nível de restrições legais.

Figura 25: Cenário de Referência do carvão com alto nível de restrições legais: participação de agentes termo-redutores no mercado siderúrgico brasileiro.



Fonte: Pesquisa na AMS, IBGE, ABRAF, SINDIFER

Considerando a crescente tendência de restrições legais ao uso de carvão vegetal não-renovável, a ocorrência desse cenário se torna mais provável que o anterior. Esse argumento ganha mais força na medida em que não seria adequado assumir que produtores de ferro e aço, independentemente de escala, fariam os novos investimentos necessários para a expansão do setor baseados numa opção insustentável do ponto de vista ambiental e legal (carvão vegetal não-renovável). Portanto, é possível e mais conservador assumir que o custo de oportunidade para um novo investimento no setor

40 Em Minas Gerais já existem regulamentações fortes e restrições legais ao uso de carvão vegetal não-renovável, contemplando um período de transição que pode durar de 7 a 10 anos. Essas restrições resultaram de um pacto de sustentabilidade firmado entre o setor produtivo, o governo do Estado e diversas organizações não-governamentais.

de ferro e aço deve ser baseado no uso do coque de carvão mineral ou de carvão vegetal renovável, proveniente de novos investimentos em florestas plantadas.

Nesta base foram calculadas estimativas remoções geradas nos Cenários de Referência supracitados. Chega-se à conclusão que as remoções nos cenários de alto ou baixo nível de restrições legais são as mesmas, já que o volume de florestas plantadas em ambos é o mesmo (Tabela 26).

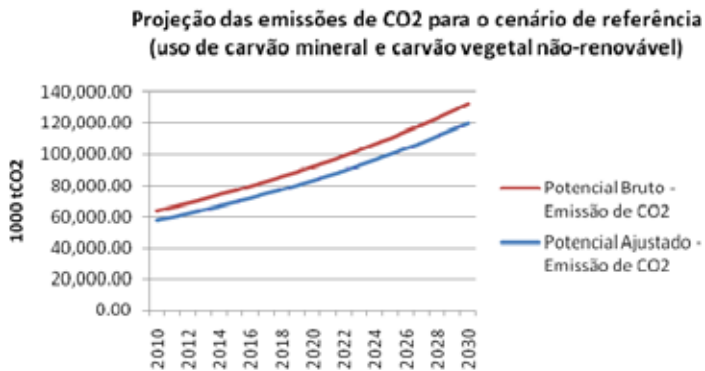
Tabela 26: Projeção das emissões de CO₂ para o Cenário de Referência (uso de carvão mineral e/ou carvão vegetal não-renovável / renovável) - 2010 a 2030 (potencial ajustado, valores em mil t CO₂)

	2010	2012	2014	2016	2018	2020	2022	2024	2026	2028	2030
Potencial Ajustado	57.917	62.283	66.977	72.025	77.453	83.291	89.568	96.319	103.579	111.385	119.780
Potencial Bruto	64.096	68.927	74.122	79.708	85.716	92.176	99.124	106.595	114.629	123.268	132.559
Remoção*	6.2	6.6	7.1	7.7	8.3	8.9	9.6	10.3	11.1	11.9	12.8

* Remoção por florestas plantadas para produção de carvão vegetal renovável nos Cenários de Referência

Fonte: Adaptação dos dados apresentados no relatório do “tema 0” (emissões associadas às indústrias).

Figura 26: Projeção das emissões de CO₂ para o Cenário de Referência do carvão.



Fonte: Adaptação dos dados apresentados no relatório do “tema 0” (emissões associadas às indústrias)

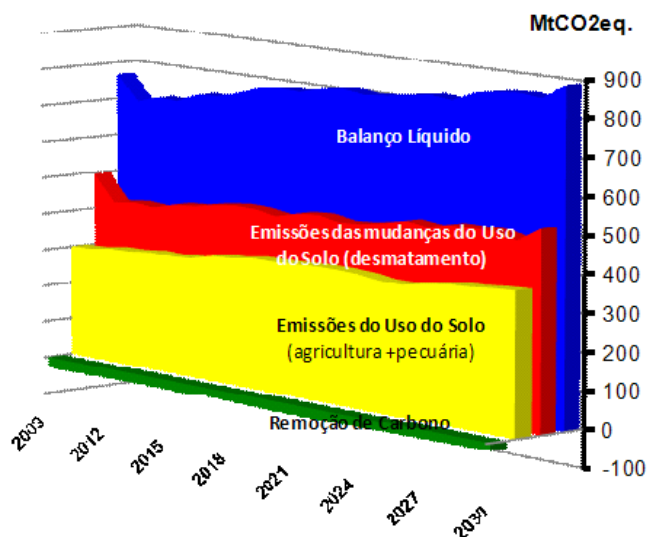
2.3 Resultados de Emissões do Cenário de Referência

Com base em análises dos subsetores, a equipe do estudo gerou um Cenário integrado de Referência para LULUCF. Esse Cenário de Referência utilizou os métodos de cálculo de emissões indicados acima, que foram integrados ao modelo do SIMBRASIL. O uso desses modelos possibilitou a geração de mapas e tabelas que registraram as emissões anuais e a remoção durante o período estudado, calculados

para cada trecho de 1km² e integrados por microrregião, por estado e por país.

A Figura 27, abaixo, apresenta um balanço geral para as emissões relacionadas ao uso do solo, às mudanças do uso do solo e ao desmatamento.

Figura 27: Resultados do Cenário de Referência: Emissões do uso da terra e das mudanças no uso da terra, 2009–30



As emissões geradas pela mudança no uso da terra através do desmatamento respondem pela maior parcela isolada do total das emissões por LULUCF – até 533 MtCO₂e por ano até 2030. As emissões anuais diretas geradas pelo uso da terra (produção agrícola e pecuária) aumentam durante o período, até a taxa anual de 383 MtCO₂e. O modelo revela uma queda na taxa anual de remoção de carbono, de 28 MtCO₂e em 2010 para 20 MtCO₂e em 2030. Para todo o período considerado, o balanço líquido de uso da terra, mudança no uso da terra e remoção de carbono resulta em um aumento das emissões, que alcançam aproximadamente 895 MtCO₂e por ano até 2030.⁴¹

41 Ao calcular o inventário nacional de carbono, alguns países consideram a contribuição da regeneração natural com respeito à remoção de carbono; e, portanto, apesar do fato de este estudo não incluir esta contribuição no balanço de carbono das atividades do LULUCF, é justo acrescentar esta informação para fins de comparação. Se a remoção de carbono através da regeneração natural de florestas degradadas fosse incluída, o potencial de remoção aumentaria em 109MtCO₂ por ano, reduzindo assim as emissões líquidas.

3 Opções de Mitigação e Remoção de Carbono

Com base na evolução projetada gerada por emissões do setor de LULUCF no Cenário de Referência este estudo tratou de explorar oportunidades para redução de emissões e aumentar a remoção de carbono. Este estudo propõe um Cenário de Baixo Carbono para o uso da terra e a mudança no uso da terra no Brasil que focalize principalmente (i) a contenção da demanda nacional por terras para cultivo e pastagem, para reduzir as emissões geradas pelo desmatamento, (ii) a expansão das opções identificadas de mitigação para a agricultura e a pecuária e (iii) a maximização do potencial de remoção de carbono associado às reservas legais de florestas e às florestas de produção.

As seções 3.1 a 3.6 identificam as opções de mitigação para produção agrícola (plantio direto), carvão (remoção de carbono baseado na silvicultura), potencial de remoção de carbono por reflorestamento (Cerrado e Mata Atlântica), pecuária e desmatamento, respectivamente. Cada uma destas cinco seções analisa as barreiras à adoção das respectivas medidas de mitigação, explorando meios para superá-las, e as políticas vigentes.

3.1 Opção de mitigação na agricultura: o plantio direto

No setor agricultura, identificou-se o plantio direto como a opção mais promissora para diminuir as emissões de gases de efeito estufa na agricultura. A adoção do sistema plantio direto, que envolve eliminação da perturbação do solo, rotação de culturas e manutenção da cobertura do solo (Saturnino & Landers, 1998), pode elevar os estoques de C do solo, em comparação ao sistema de preparo convencional do solo (Sisti et al., 2004; Diekow et al., 2005), até níveis próximos aos da vegetação nativa (Jantalia et al., 2007).

O monitoramento do C no solo tem sido feito com base na metodologia do IPCC (1996; 2006), que estabelece a profundidade de 0-30 cm como referência. Deve-se considerar também que as variações de estoques de C são dependentes do histórico da área. Relatos publicados de estudos que avaliaram o efeito do plantio direto de cereais e soja sobre a acumulação de C no solo encontraram que, para a camada mais superficial do solo, as taxas foram de 0,5 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹. No entanto, esse número é difícil de ser extrapolado para o país, pois áreas sob o mesmo sistema de produção por mais de 20 anos (IPCC, 2006) já não sofrem mais modificações nos estoques de C do solo. Embora outros trabalhos tenham mostrado uma variação maior no prazo para estabilização dos estoques (Coleman et al., 1997), é possível que 20 anos representem um tempo adequado para a região tropical, onde a ciclagem do C é mais rápida.

Outro ponto importante é a forma como o plantio direto é conduzido. No Sul do Brasil, a soja e o trigo são as culturas principais usadas no verão e inverno, respectivamente, enquanto que nos Cerrados, o sistema funciona na base da soja-milho safrinha. Problemas relacionados a pragas e doenças no plantio direto podem aparecer quando se trabalha em monocultivo, tanto no verão quanto no inverno (Derpsch, 1997), por isso a rotação de culturas é chave para o sucesso com o plantio direto. O uso

de rotações de culturas sob plantio direto é a chave para reduzir problemas de erosão, pragas e doenças e potencializar a acumulação de matéria orgânica no solo.

Enquanto o plantio direto pode aumentar os estoques de C do solo, também pode proporcionar condições para maior atividade desnitrificadora, e amplificar as emissões de N_2O (Smith & Conen, 2004). Porém, esse efeito parece não ocorrer em todos os solos. Jantalia et al. (2008) não encontraram diferenças nas emissões de N_2O de solos sob plantio direto em comparação ao convencional. Quando se trata de solos de boa drenagem, como os Latossolos, comuns na maioria das áreas sob agricultura no país, o uso de plantio direto não favorece as emissões de N_2O (Rochette, 2008).

Além de favorecer a acumulação de C no solo, o uso do plantio direto pode reduzir as emissões de metano do arroz inundado, sendo uma estratégia de mitigação recomendada para esta produção (Wassmann et al., 2000). Estudos feitos em áreas de produção de arroz inundado (Tabela 27) mostram reduções variadas nas emissões de CH_4 , que em média chegam a 48%. O efeito do plantio direto é explicado pelo aumento de receptores de elétrons (Hanaki et al., 2002) e aumento de fototróficos (Harada et al., 2005) que diminuem a atividade metanogênica. No Brasil, pesquisas feitas em sistema de arroz inundado mostram que a ausência de revolvimento do solo em sistema plantio direto poderia reduzir as emissões de metano em cerca de 15% (Lima, 2009).

Tabela 27: Emissões de metano pelo uso de plantio convencional e direto em áreas de arroz inundado em diferentes localidades, e a redução nas emissões pelo uso de plantio direto em comparação ao convencional

Local (tempo de medida)	Plantio convencional	Plantio direto	% redução nas emissões de metano	Referências
$g CH_4 m^{-2}$				
Filipinas (ciclo)	27,2	19,6	28	Wassmann et al., 2000
Japão (2 anos)	48,4	15,6	68	Hanaki et al., 2002
Japão (2 anos)	45,8	18,8	59	Hanaki et al., 2002
China (ano)	117,9	19,7	83	Shao et al., 2005
China (ano)	117,9	68,4	42	Shao et al., 2005
Japão (ano)	17,9	10,2	43	Harada et al. 2005
China (ciclo)	17,9	15,7	13	Xiang et al., 2006
Média			48	--

Benefícios do plantio direto

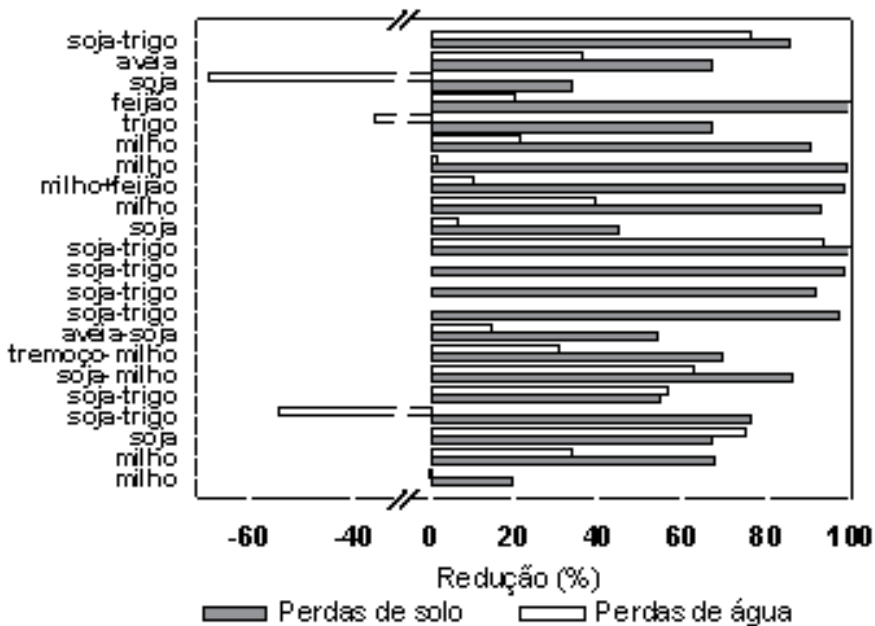
O sistema plantio direto é caracterizado pela eliminação da movimentação do solo, manutenção do solo continuamente coberto com resíduos de culturas, e pela utilização de rotação de culturas. Um dos grandes benefícios do plantio direto é a diminuição da erosão do solo. No Sul do Brasil, de relevo mais ondulado, as perdas de solo por erosão eram grandes. Somente com o uso do plantio direto, diversos estudos mostraram que, em média, a perda de solo é reduzida em 70%, e a de água, em 20% (Figura 28). A manutenção do resíduo sobre o solo também auxilia na redução da erosão eólica, embora não se saiba ao certo qual a relevância dessa forma de erosão no país.

Uma das alterações pelas quais passa o solo sob plantio direto ocorre na estrutura do solo. O tráfego de máquinas sobre o solo pode provocar compactação, principalmente nas camadas mais superficiais do solo. Dependendo das culturas usadas na rotação, a compactação pode ser mais ou menos grave. No entanto, o uso de espécies como as gramíneas forrageiras dos gêneros *Brachiaria* e *Panicum* podem modificar essa situação, devido ao sistema radicular abundante e profundo.

O plantio direto bem conduzido tem efeitos positivos no tamponamento da temperatura do solo, melhorando a estrutura e a capacidade de armazenamento de água, além de aumentar os sítios de retenção de nutrientes na camada explorada pelas raízes das plantas (Gassen & Gassen, 1996).

A redução das operações agrícolas de preparo do solo, que tomavam um ou mais meses até que se pudesse plantar, foi outro benefício do plantio direto, que viabilizou a possibilidade de duas ou três safras ao ano e, conseqüentemente, economia de combustível e mão-de-obra operacional e de manutenção.

Figura 28: Redução percentual das perdas de solo e água proporcionadas pelo plantio direto (PD), em relação ao plantio convencional (PC). Adaptado de De Maria (1999)



A Tabela 28 traz dados de custos de investimento e O&M para a agricultura no Cenário de Referência assim como a receita obtida em números acumulados no período de 2010 a 2030. Cerca de 68% da receita compreendem os custos totais no Cenário de Referência. Nessa mesma tabela, encontram-se números para o Cenário de Baixo Carbono, desenhado para a condição de 100% de adoção do plantio direto. No Cenário de Baixo Carbono, os custos totais representam 44% da receita. Os custos

de investimento reduzem-se em 29%, e os de O&M em 8%. A redução de custos ocorre em função de eliminação de implementos, como grades e arados, e à redução no uso de combustíveis (cerca de 40 L/ha para cada safra).

Tabela 28: Custos e receitas no Cenário de Referência e no de Baixo Carbono pela adoção de plantio direto, cumulativos para o período 2010-2030

Cumulativo	Opções do Cenário de Referência			Opções de mitigação ou remoção de carbono			
	Proposta considerada	Custo de investimento	O&M	Receita	Custo de investimento	O&M	Receita (sem receita de carbono)
Plantio Direto		473.851.746,00	2.324.026.541,00	4.114.575.626,00	335.574.435,00	2.129.349.512,00	5.618.152.902,00

Assim, a adoção de plantio direto para mitigar as emissões de gases de efeito estufa não geraria custo adicional, já que naturalmente ocorreria aumento de receita pelo uso de plantio direto.

3.1.1 *Potencial de redução de emissões associado ao plantio direto*

No Cenário de Baixo Carbono, 100% da área de produção de algodão, arroz, feijão, milho e soja são convertidos em plantio direto, a partir de 2015. O principal efeito desse processo é a redução das emissões de CO₂ pelo uso do solo, que chegam a 237 MtCO₂eq (Tabela 29). A redução de emissões de N₂O do solo pela mineralização do N orgânico é de 55 MtCO₂eq. O plantio direto em áreas de arroz irrigado contribui para reduzir as emissões em 10%, comparado ao Cenário de Referência ou seja, 43 MtCO₂eq.

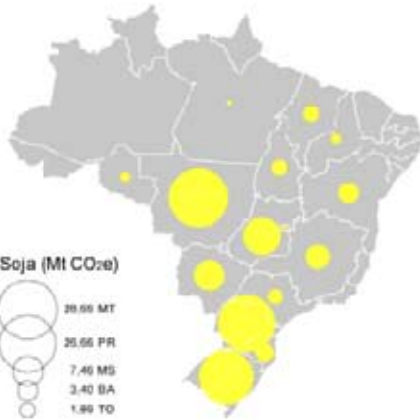
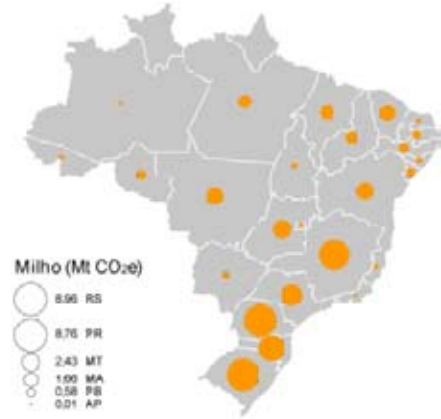
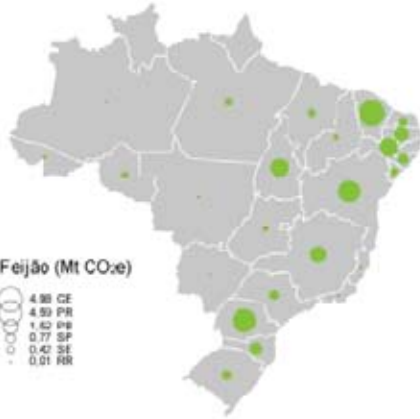
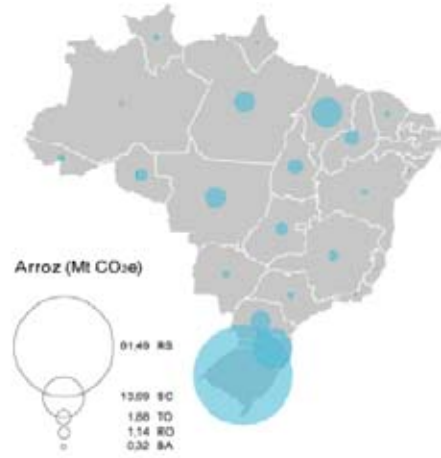
A economia em energia fóssil chega a 21 MtCO₂eq, grande parte decorrente da economia de óleo diesel nas operações agrícolas. No total, são evitadas emissões da ordem de 356 MtCO₂eq, o equivalente a uma redução de 17 % em relação ao Cenário de Referência.

Tabela 29: Gases de efeito estufa produzidos no Cenário de Baixo Carbono: adoção de plantio direto em 100% da área de agricultura de 2015 a 2030

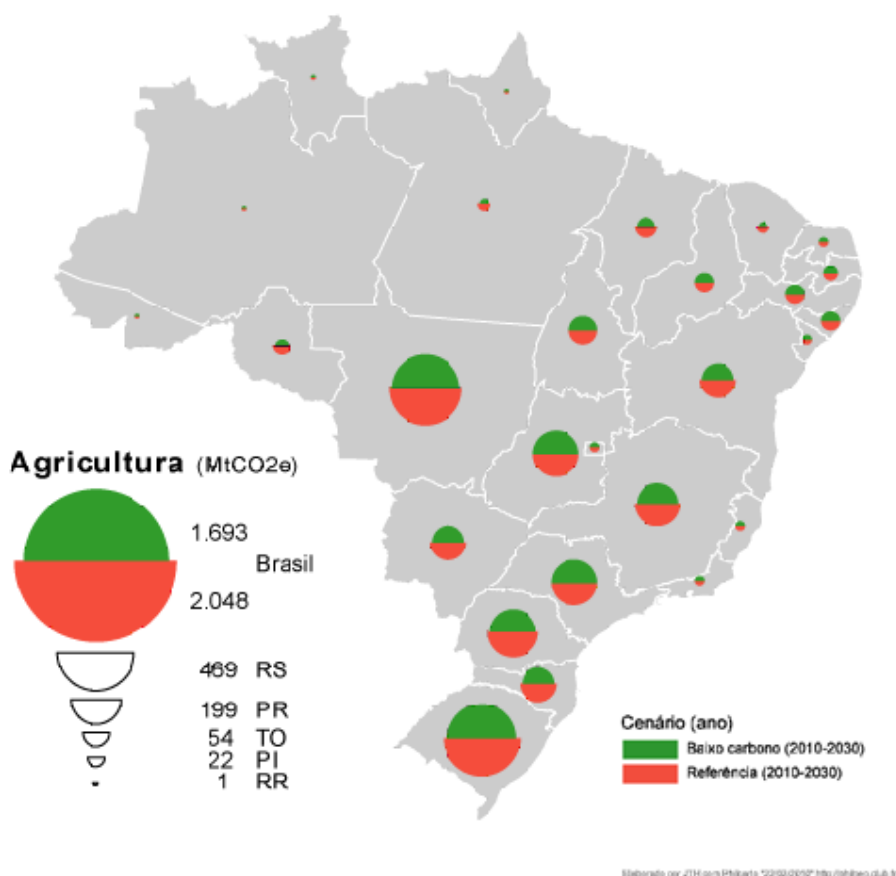
Fonte de emissão	Emissões de GEEs no Cenário de Baixo Carbono (MtCO ₂ e)	Diferença em relação ao Cenário de Referência	
		MtCO ₂ e	% redução
CO ₂ produzido com a redução nos estoques de C do solo	348,4	236,8	40,5
N ₂ O de fertilizantes, resíduos, queima de palha de cana e mineralização do N do solo com a redução dos estoques de C	631,0	54,6	8,0
CH ₄ produzido de arroz alagado por irrigação e queima de palha de cana	390,8	42,8	9,9
Uso de energia fóssil em operações agrícolas	322,4	21,1	6,3
Total	1.692,5	355,5	17,0

Os resultados por unidades da federação estão apresentados nos mapas 22 e 23, abaixo.

Mapa 22: Mitigação por Cultivo, 2010 a 2030



Fonte: EMBRAPA



3.1.2 Barreiras limitando a expansão do plantio direto

O uso do sistema plantio direto preconiza três ações básicas para a sustentabilidade do sistema: a) O plantio deve ser feito continuamente na forma direta, sem o revolvimento tradicional do solo; b) Devem ser utilizadas culturas capazes de deixar alta quantidade de palha para manter o solo coberto com resíduos por todo o ano; e c) O uso de rotação de culturas, no verão e inverno é essencial para quebrar ciclos de pragas e doenças e melhorar a reciclagem de nutrientes do solo.

Levantamentos sobre o uso de plantio direto na agricultura brasileira, com apoio de entidades de extensão rural e de produtores, mostraram forte adoção do sistema até início desta década. Nos anos que se seguiram, as estimativas de adoção do plantio direto nas áreas de produção ficaram restritas à análise de tendências, resultando em uma estimativa de 25 milhões de hectares em 2005. Consultas feitas a especialistas da Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha e à Associação de Plantio Direto no Cerrado (APDC) trouxeram a informação de que houve certa estagnação na adoção do plantio direto; mais ainda, parece que a frequência com que produtores utilizam

práticas convencionais, como uso de grades leves, subsoladores, ou mesmo reversão total ao plantio convencional, tem aumentado (dr. John Landers, APDC, informação pessoal). De fato, existe unanimidade entre especialistas, de que a área sob o sistema de plantio direto “bem conduzido” segundo as premissas apresentadas, é bem inferior aos 25 milhões de hectares que aparecem nas estatísticas.

A mudança do plantio convencional para o plantio direto nem sempre é fácil de ser realizada. Mitos sobre o uso de plantio direto, como compactação do solo e da baixa eficiência da calagem, assim como aparecimento de pragas e doenças, decorrentes de sistemas mal planejados, ou fora das recomendações, alimentam uma expectativa de risco que desencoraja os produtores de tentarem. De fato, existem várias barreiras de ordem técnica que precisam ser superadas:

- Acesso à tecnologia. O produtor agrícola em geral não adota tecnologias que não conhece. Ele resiste a buscar os conhecimentos necessários constituindo uma importante barreira para os pequenos agricultores, responsáveis por importante parcela da produção de grãos como feijão e milho, e que por limitações econômicas e culturais tem acesso restrito, ou não tem acesso, ao apoio profissional para adaptar seus sistemas de produção. No caso dos grandes produtores esta barreira é de menor importância.
- Custos de conversão/vantagem econômica. Dependendo de cada situação, o início do sistema plantio direto pode ser mais oneroso pela necessidade de máquinas e também maiores quantidades de insumos e não é consenso que exista sempre vantagem econômica pelo uso de plantio direto para todas as regiões do país.
- Conhecimento disponível. O grau de conhecimento e tecnologias disponíveis para áreas de clima mais ameno, no Sul do Brasil, faz com que o uso de plantio direto na sua essência seja muito disseminado. No entanto, para a região que compreende o Norte/Noroeste do Estado do Paraná e demais regiões do País, especialmente os Cerrados, ainda são demandadas pesquisas sobre plantas de cobertura para o período posterior à safra de verão, que garantam massa de resíduos suficiente para cobrir o solo durante o ano.
- Logística e infraestrutura. De modo geral, o produtor brasileiro sofre fortemente com o escoamento e armazenamento da produção. O maior valor da soja faz com que não haja possibilidade de armazenamento para culturas como a do milho, uma das opções mais importantes para rotação de culturas no verão. A garantia da compra desses cereais alternativos usados nas rotações de verão também não existe. Esses fatos apenas estimulam a monocultura da soja e enfraquecem um dos elos para o sucesso do plantio direto, que é a diversificação.

3.1.3 *Propostas para superar as barreiras*

As barreiras que são entraves para a expansão do plantio direto no País precisam ser superadas e, para isso, vislumbram-se as seguintes medidas de acompanhamento:

Incentivo à pesquisa básica e tecnológica para gerar continuamente informações que garantam a sustentabilidade do plantio direto nas diferentes regiões do País.

Reestruturação do sistema de extensão rural, com preparação de técnicos, para que atuem como elo entre as instituições de pesquisa, universidades e os diferentes segmentos do setor produtivo. É fundamental que as Universidades e Escolas técnicas considerem o sistema de plantio direto no currículo mínimo de formação de profissionais.

Créditos prioritários, facilitados e diferenciados para produtores que adotem o sistema de plantio direto; ex.: ampliação do orçamento para o crédito agrícola, com juros menores, orientado aos produtores que praticam o plantio direto; seguro rural, com possibilidade de redução dos prêmios em função do tempo de adoção do sistema, etc.

Ampliação do armazenamento e garantia de compra de produtos relevantes para o plantio direto, como milho e arroz.

Desenvolvimento de instrumentos financeiros de “hedge” de preços de insumos essenciais ao sistema plantio direto (ex.: herbicidas).

3.2 Remoção de carbono através do aumento das florestas de produção para carvão vegetal renovável

As principais opções de remoção de carbono disponíveis no Brasil, como já se discutiu no Capítulo 2, são as florestas de produção e o restauro de florestas nativas – em especial o reflorestamento de matas ciliares e de reservas legais. Esta seção e a seção seguinte tratam de identificar o potencial de remoção de carbono dessas opções, primeiro as florestas de produção e, segundo, o restauro de florestas nativas, analisando e explorando formas de superar barreiras à sua implementação.

3.2.1 Potencial de remoção de carbono associado ao aumento da produção de carvão vegetal renovável

Uma opção de mitigação considerada foi o uso adicional de carvão vegetal renovável no setor siderúrgico brasileiro. Esta seção aborda o potencial de remoções líquidas de gases de efeito estufa ou “potencial de sequestro”, em função de um possível aumento na produção de carvão vegetal renovável.

O Plano Nacional de Mudanças Climáticas já contempla esse tipo de opção de mitigação. No documento do Plano, existe uma referência à necessidade de dobrar a atual área de florestas plantadas no Brasil⁴² (MMA,2008). No entanto, como o Plano ainda está numa fase preliminar, ainda não há menção de valores exatos quanto ao uso

⁴² Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/169/_arquivos/169_29092008073244.pdf Assim como no caso de outras medidas, o Plano também faz referência à utilização do MDL como um dos instrumentos de implementação da medida.

adicional de carvão vegetal renovável no setor siderúrgico. É importante notar que a medida também tem sido contemplada pela Política de Desenvolvimento Produtivo, ainda em desenvolvimento e coordenada pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC).

Como mencionado anteriormente, o uso adicional de carvão vegetal renovável como agente termo-redutor no processo siderúrgico pode resultar em dois tipos de benefícios climáticos: (i) reduções de emissões no processo industrial e (ii) aumento de estoques de carbono gerados pelos estoques adicionais de plantios florestais sustentáveis. No âmbito deste Estudo (LCCCS⁴³) foi desenvolvido um Cenário de Baixo Carbono. Este relatório contrasta o Cenário de Referência com as potenciais remoções provenientes dos novos plantios florestais, em duas situações. Na primeira (Cenário 1), a hipótese seria de que a participação do carvão vegetal na produção siderúrgica se manteria nos níveis atuais, aproximadamente 33%, até o ano de 2030, assumindo que a totalidade do carvão vegetal utilizado pelo setor seria proveniente de florestas plantadas Atualmente menos da metade do carvão vegetal utilizado no setor é proveniente de florestas plantadas (vide AMS, 2009, ABRAF). Na segunda situação (Cenário 2), a participação passaria dos atuais 33% para aproximadamente 46% até 2030. Em ambos os casos o carvão mineral continuaria como principal agente termo-redutor utilizado na siderurgia, porém no segundo caso, a participação relativa do carvão vegetal aumentaria aproximadamente 13 pontos percentuais. Muito embora saiba-se que ambos os cenários são bastante ambiciosos e que dependeriam de diversas mudanças estruturais nas atuais condições de produção (mencionadas adiante), optou-se por adotá-los como hipóteses para que as projeções quanto à demanda por terra no Brasil fossem conservadoras e incorporassem também uma substantiva expansão nas áreas de plantio florestal, ainda que estes não sejam os cenários mais prováveis na ausência de novas medidas. Para as duas situações foram utilizadas as seguintes premissas:

1. Diminuição substantiva de barreiras de investimentos, gerenciais, institucionais e tecnológicas, gerando um aumento significativo da oferta de florestas plantadas para carvão vegetal renovável por meio das diversas medidas apresentadas neste relatório, inclusive a utilização do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Quioto, ou instrumentos equivalentes. Com a diminuição das referidas barreiras, o estoque de florestas plantadas representaria uma área entre 2,352 e 2,663 no Cenário 1, e 3,276 a 3,663 milhões de hectares no Cenário 2.
2. As principais barreiras em relação à utilização de carvão vegetal renovável em processos siderúrgicos são: (i) a escassez de florestas plantadas, (ii) os maiores custos de transação do carvão vegetal renovável em relação ao coque de carvão mineral e ao carvão vegetal não-renovável e (iii) as limitações técnicas e logísticas que envolvem as utilização do carvão vegetal renovável em grandes altos-fornos. Em função das referidas limitações técnico-operacionais, seria necessário promover práticas de injeção de finos

43 Low Carbon Country Case Study – Brazil; coordenado pelo Banco Mundial. Como mencionado anteriormente, as emissões e possíveis reduções de emissões nas indústrias foram tratadas e contabilizadas no relatório síntese de energia, a partir do qual foram baseados os cenários de baixo carbono aqui apresentados.

de carvão vegetal em grandes altos-fornos a coque (especialmente no setor integrado), de maneira combinada ao estímulo de novos arranjos produtivos baseados em conjuntos de altos-fornos menores (especialmente no setor independente). Em suma, mantidas as configurações atuais, essas potenciais mudanças seriam inviáveis em diversas empresas do setor, especialmente no setor integrado, que representa a maior parte da produção siderúrgica brasileira.

3. Como resultado da implementação de novas medidas, como as que são sugeridas aqui, e o aumento gradual na disponibilidade de florestas plantadas a partir de 2010, poderia haver uma mudança gradual na participação de cada agente termo-redutor no crescimento projetado para o setor a partir de 2018 (3,7% ao ano⁴⁴). No Cenário 1, o crescimento anual da produção siderúrgica a carvão mineral seria da ordem de 2,8%, e o crescimento anual da produção a carvão vegetal renovável seria de aproximadamente 0,9%. No Cenário 2, ocorreria a situação inversa, na qual o crescimento anual da produção siderúrgica a carvão mineral seria da ordem de 1%, e o crescimento anual da produção a carvão vegetal renovável seria de aproximadamente 2,7%. Ou seja, ambos os Cenários de Baixo Carbono foram totalmente baseados na expansão do setor, respeitando todas as decisões de investimento consolidadas.

Possíveis co-benefícios e efeitos negativos:

Além dos benefícios climáticos, diversos co-benefícios podem ser atribuíveis à ampliação do uso do carvão vegetal renovável na siderurgia. Um co-benefício indireto, mas de elevada importância, é a contribuição para a redução da pressão sobre as florestas nativas no Brasil. Historicamente, florestas nativas atenderam grande parte da demanda por madeira no país, o que contribuiu para desmatamento de florestas nativas em vários biomas.

Outro co-benefício seria em relação à redução da dependência de fontes externas de energia devido à dependência externa de carvão mineral. Aproximadamente 80% do material é importado, em função da escassez e das propriedades do carvão mineral produzido no país (Brito, 1990). Caso essas medidas consigam evitar parte do uso futuro de carvão mineral, poderia haver redução significativa de emissões de outros gases poluentes, tais como o SO₂/SO_x assim como o consumo líquido de O₂ da atmosfera. No processo de fabricação siderúrgica utilizando o carvão mineral são utilizados “1.376 kg em consumo de O₂ para cada tonelada de ferro-gusa produzido. Por sua vez, na rota integrada a carvão vegetal (...) praticamente não há retirada de O₂ da atmosfera” (Bonezzi, Cadeira-Pirez e Brasil Junior 2004 apud Sampaio, 1999). Segundo Castro (2000), no processo siderúrgico utilizando o carvão vegetal de florestas plantadas “o ciclo produtivo apresenta irrisório consumo de 8 kg O₂/ tonelada de gusa e uma recuperação permanente à atmosfera de 14.120 kg O₂/ tonelada de gusa”. Por outro lado, para produzir uma tonelada de gusa emite-se ainda “10 kg de SO_x produzido pelo trajeto do carvão mineral” Castro (2000) e cerca de 9,5 SO₂ considerando o mesmo processo (Bonezzi, Cadeira-Pirez e Brasil Junior (2004) apud Sampaio (1999). Estas emissões ocorrem basicamente devido à composição química do carvão mineral que

44 Valor baseado no crescimento médio do PIB brasileiro adotado pelo Plano Nacional de Energia.

contém enxofre e outras substâncias indesejáveis, tais como metais pesados, que são parcialmente removidos das emissões de combustão. A combinação dessas substâncias com vapor d'água na atmosfera podem formar precipitações de ácido sulfúrico (Castro, 2000).

As implicações das atividades de produção de florestas plantadas também podem ser apresentadas como co-benefícios, desde que promovidas em terras degradadas ou menos produtivas, e que observem a legislação ambiental brasileira. Esses possíveis ganhos incluem um amplo potencial de contribuição ao desenvolvimento sustentável em regiões rurais, por meio da geração líquida de novos empregos, ou do estabelecimento, monitoramento e preservação de áreas de biomas nativos adjacentes aos plantios, o que pode contribuir para a conservação da biodiversidade em relação ao que ocorreria em áreas degradadas.

Já os possíveis efeitos negativos das hipóteses de Cenários de Baixo Carbono estão diretamente atrelados a alguns dos pressupostos básicos adotados neste relatório, como o respeito à legislação ambiental, especialmente no que se refere às provisões relacionadas ao desmatamento. Impactos ambientais negativos poderiam ocorrer em casos de desrespeito à lei, sejam estes relacionados à gestão socioambiental dos plantios florestais e práticas de carbonização em suas diversas escalas, ou à conversão insustentável de florestas nativas em áreas de produção. Nesse sentido, a consideração plena sobre os possíveis efeitos negativos é função de uma análise mais ampla, que diz respeito ao desempenho da legislação ambiental brasileira como um todo, o que vai além do escopo deste relatório.

Fica aqui registrada a necessidade de se considerar esses riscos, que historicamente têm sido reduzidos. No entanto, é igualmente importante frisar que qualquer análise conclusiva teria ainda que considerar a comparação das consequências substantivas do desrespeito à lei com os efeitos negativos potenciais do uso dos produtos alternativos, ou seja, os possíveis efeitos negativos do uso do coque de carvão mineral e do carvão vegetal não-renovável, proveniente de práticas insustentáveis de desmatamento. Caso contrário, a análise poderia não refletir, ou refletir de maneira desequilibrada, os possíveis *trade-offs* em relação ao uso dos três agentes termo-redutores em questão.

Quantificação do potencial de redução de emissões e remoções líquidas de CO₂ no Cenário de Baixo Carbono para o carvão:

A hipótese de implementação dos Cenários de Baixo Carbono resultaria na geração de remoções líquidas de CO₂ da atmosfera, proporcionadas pelos estoques adicionais de florestas plantadas. As estimativas do potencial de remoções foram baseadas numa capacidade de estocagem média plurianual de 190 tCO₂e por hectare, tal como apresentado acima e no Capítulo 2. Essa abordagem é conservadora, na medida em que o estoque médio de CO₂e por hectare inclui somente a quantidade média de biomassa viva ao longo dos sete anos do ciclo de plantio e colheita da madeira⁴⁵. Igualmente, foram considerados ganhos de produtividade esperados com possíveis melhorias operacionais ou tecnológicas nos plantios florestais, nos processos de carbonização e de termo-redução, ao

⁴⁵ Os demais reservatórios de carbono, geralmente incluídos nas análises do IPCC, não foram incluídos nesses valores (serapilheira, madeira morta, carbono no solo e produtos madeireiros).

longo do tempo, de maneira coerente com ganhos de produtividade obtidos no passado⁴⁶. Considerando que a área total requerida poderia variar entre 2,352 e 2,663 milhões de hectares, no Cenário 1, o potencial de estocagem, em 2030, ficaria entre 446,8 MtCO₂e e 499,6 MtCO₂e, conforme a Figura 29 e a Tabela 30.

Figura 29: Estoque de CO₂e em plantios florestais para carvão vegetal renovável no Cenário 1

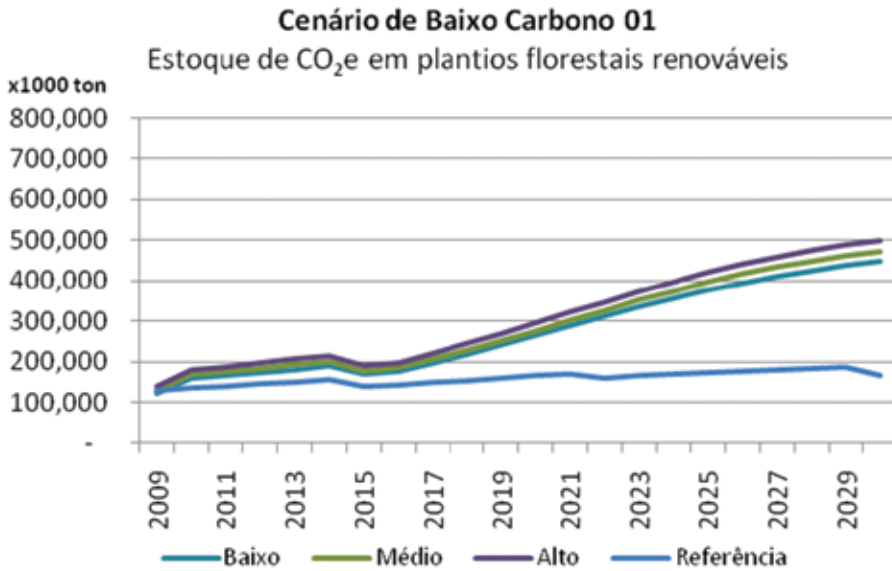


Tabela 30: Remoção de CO₂e em plantios florestais para carvão vegetal renovável no Cenário 1

Cenário de Baixo Carbono 01						
Remoções em tCO ₂ e						
		2010	2015	2020	2025	2030
Cenário de Referência		44.364	146.258	175.394	179.407	178.503
Cenários de Baixo Carbono (por produtividade)	Baixa	159.973	170.484	264.63	76.007	446.875
	Média	170.506	178.120	276.493	396.691	473.202
	Maior	181.642	189.335	93.902	19.567	499.681
Potencial de remoções líquidas referentes ao cenário de maior produtividade (Alto) em tCO ₂ e		37.278	43.077	18.508	240.160	321.178

46 Nos anos de 2015, 2022 e 2030 foram considerados ganhos de produtividade de cerca de 10% em todos os cenários, distribuídos nas três principais etapas da cadeia produtiva (produção de florestas, conversão de madeira em carvão vegetal e termo redução em altos-fornos).

Já no Cenário 2, a área total requerida ficaria entre 3,276 e 3,663 milhões de hectares e a capacidade de estoque poderia variar entre 622,4 MtCO₂e e 695,9 MtCO₂e, em 2030, conforme a Figura 30 e Tabela 31, abaixo:

Figura 30: Estoque de CO₂e em plantios florestais para carvão vegetal renovável no Cenário 2

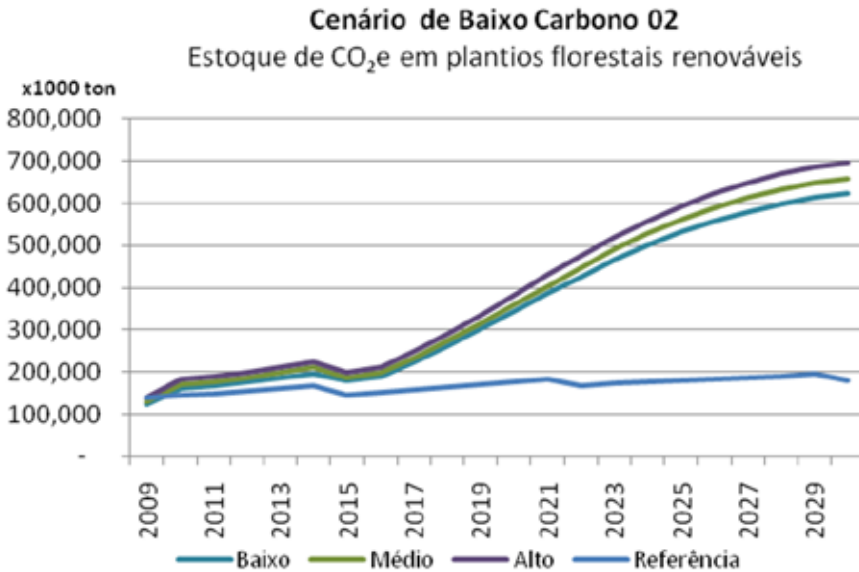
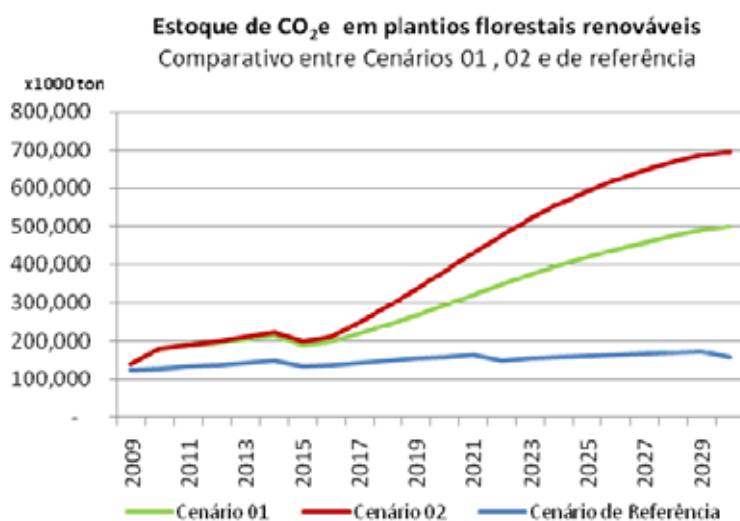


Tabela 31: Remoção de CO₂e em plantios florestais para carvão vegetal renovável no Cenário 2

Cenário de Baixo Carbono 02						
Remoções em CO ₂ e						
	2010	2015	2020	2025	2030	
Cenário de Referência	144.364	146.258	175.394	179.407	178.503	
Cenários de Baixo Carbono (por produtividade)	Menor	159.973	179.677	343.677	531.261	622.440
	Média	170.506	187.726	359.071	560.484	659.110
	Maior	181.642	199.545	381.680	592.806	695.992
Potencial de remoções líquidas referentes ao cenário de maior produtividade" (tCO ₂ e)	37.278	53.287	206.286	413.399	517.489	

As remoções líquidas hipoteticamente geradas pelos dois Cenários de Baixo Carbono, em 2030, foram estimadas a partir da diferença entre os estoques de florestas plantadas nos respectivos cenários e dos estoques no Cenário de Referência que equivalem a uma área de aproximadamente 1 milhão de hectares em 2030. Assim, o potencial máximo de remoções líquidas, em 2030, ficaria em torno de 321,1 MtCO₂e no Cenário 1 (ver Tabela 30) e 517,4 MtCO₂e no Cenário 2 (ver Tabela 31), conforme ilustrado na Figura 31, abaixo.

Figura 31: Comparativo do Estoque de CO₂e nos Cenários 1, 2 e de Referência



3.2.2 Barreiras limitando a expansão de florestas de produção para carvão vegetal renovável

O Brasil tem se destacado como um dos poucos países capazes de produzir ferro e aço à base de carvão vegetal, no curto prazo e em escala significativa⁴⁷. No entanto, a ampliação do uso de carvão vegetal renovável de florestas plantadas, em substituição ao coque de carvão mineral ou ao carvão vegetal não-renovável, enfrenta várias barreiras e algumas falhas de mercado, que são analisadas a partir das categorias abaixo:

Falta de financiamento adequado: Muito embora os plantios florestais no Brasil tenham uma excelente produtividade em comparação a outros países, a atividade demanda grandes volumes de investimento de longo prazo (ex.: terra, mão-de-obra, etc.). As primeiras receitas ocorrem, em geral, somente após o sétimo ano. Isso significa que os empréstimos necessários à atividade deveriam ter, minimamente, 7 anos de carência e uma duração mínima de 10 anos, já considerando o uso de espécies mais rápidas, como o eucalipto. Essa estrutura de crédito é inexistente em bancos comerciais brasileiros e é bastante escassa em bancos públicos. A maior parte dos programas federais de financiamento (Propflora, Pronaf) é voltada à produção em pequena escala, o que é importante, mas insuficiente para suprir o déficit de florestas plantadas no Brasil.

Dificuldade de acesso ao crédito: Além da escassez de financiamento adequado, o acesso ao crédito também é uma barreira relevante. Ainda existem dificuldades em diversos bancos para a utilização das próprias florestas plantadas como fonte de garantia aos empréstimos, o que é permitido no caso de outras culturas agrícolas. Muitas vezes, somente a terra pode ser considerada como garantia real. Por outro lado, a liberação de financiamento é muitas vezes dificultada pela situação irregular de algumas empresas demandantes em termos de licenciamento ambiental, o que demonstra a necessidade de coordenação entre as políticas públicas de financiamento e o enquadramento de agentes econômicos no âmbito dos processos de licenciamento ambiental.

Segundo ABRAF (2009, p. 93), “atualmente o setor florestal tem a seu dispor linhas de crédito para pequenos projetos florestais que são operacionalizados por bancos públicos federais”. Esses fundos concentram-se basicamente em dois programas, o PROPFLORA e o PRONAF Florestal, respectivamente desenvolvidos pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e pela parceria entre o Ministério do Meio Ambiente (MMA) e o Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA). Apesar de importantes, tais recursos são insuficientes para atender à demanda de financiamento necessário para suprir o déficit de florestas plantadas no país, e mais ainda no que se refere a uma possível implementação do Cenário de Baixo Carbono. Em 2007 o PROPFLORA desembolsou pouco mais de R\$ 52 milhões de reais, enquanto o PRONAF desembolsou cerca de R\$ 12 milhões de reais no mesmo ano (ABRAF, 2009: 94-95). A necessidade de financiamento no âmbito do Cenário de Baixo Carbono seria de aproximadamente US\$6 bilhões.

Outro programa importante é o BB Florestal que, além de investimentos florestais, também abrange o custeio e a comercialização. Apesar de seu volume de recursos ser bastante considerável, nominalmente cerca de R\$ 756 milhões de reais em operação no ano de 2008, os contratos concentram-se no Estado de São Paulo com mais de 73% do total dos recursos aplicados (ABRAF, 2009) e estão voltados para outros setores industriais, não incluindo o uso de carvão vegetal renovável na siderurgia.

Existem algumas experiências estaduais de relativo sucesso, como o Programa Proflorestas, do Banco de Desenvolvimento de Minas Gerais (BDMG), mas que sofrem com a mesma escassez de recursos. Nos chamados Fundos Constitucionais (FNO – BASA; FNE-BNB; FCO-BB) há certa disponibilidade de recursos, mas não existe nenhum programa que atenda às características específicas do uso de carvão vegetal de florestas plantadas para siderurgia.

Maiores custos de transação em comparação a produtos substitutos e maior aversão do mercado de capitais internacional ao carvão vegetal de florestas plantadas: Os custos de transação da atividade de plantio e gestão de florestas de produção para carvão vegetal renovável são significativamente maiores que os custos de transação dos principais produtos substitutos. Em comparação ao seu substituto global, (coque de carvão mineral) o carvão vegetal renovável possui contra si o longo prazo de maturação, que segue a dinâmica de ciclos de 14 a 21 anos de produção, a maior necessidade de mão-de-obra para a realização dos plantios e dos processos de carbonização, altos custos com terra e a maior dificuldade em obter licenciamento ambiental e financiamento. O carvão mineral é uma *commodity* global, para a qual existe um mercado internacional regularmente estabelecido, cujas estruturas de custo de produção e logística são amplamente conhecidas e que se beneficia de retornos crescentes de escala e de externalidades de rede (ver Krugman & Obstfeld, 2000). Quando comparado com o carvão vegetal não-renovável, proveniente de

desmatamento, o carvão vegetal renovável pode enfrentar concorrência desleal, imposta muitas vezes de maneira ilegal, acarretando externalidades negativas. O carvão vegetal não-renovável não requer os investimentos pesados em terra e plantio, reduzindo drasticamente seus custos de produção.

Nesse contexto marcado por diversas fontes de falha de mercado, a aversão de investidores internacionais ao risco tende a ser maior no caso de uso de carvão vegetal renovável, um investimento de longo prazo com altos custos de transação, do que no caso do uso de carvão mineral.

Insegurança de suprimento sustentável de carvão vegetal renovável: O Brasil tem convivido com um déficit histórico de madeira proveniente de florestas plantadas para diversos usos, sobretudo para o suprimento de carvão vegetal renovável⁴⁸. De 1967 a 1988, o governo federal manteve um programa de incentivos fiscais (FISSET) que, apesar de diversas dificuldades, contribuiu para que a área de florestas plantadas aumentasse significativamente (Brasil, 2007). Com o fim abrupto dos incentivos, a prevalência das barreiras mencionadas tornou-se ainda mais evidente e houve um aumento do déficit de carvão vegetal renovável no mercado. Por outro lado, a abertura do mercado brasileiro no início dos anos 90 facilitou o acesso ao carvão mineral (Brasil, 2007).

O déficit crônico de carvão vegetal renovável enfrentado pelo país é comumente conhecido como “apagão florestal”, que expõe a vulnerabilidade a que empresas do setor ficam expostas. Em boa medida, esse é produto das diversas barreiras listadas ao longo desta seção e de falhas de mercado geradas pela significativa assimetria de informações, assim como das respectivas dificuldades de avaliação de risco entre os produtos concorrentes (carvão mineral, carvão vegetal não-renovável e carvão vegetal renovável), como mencionado no item anterior. Assim, as empresas ficam expostas a episódios de escassez no fornecimento de carvão vegetal renovável.

As alterações históricas nos preços do ferro gusa, o que – em sentido estritamente financeiro – poderia tornar atraente o estabelecimento de plantios, não têm resultado em um crescimento proporcional no estabelecimento de plantios. Ao contrário, a lacuna existente quanto ao estabelecimento de plantios até mesmo piorou. Ao longo da história, as oscilações positivas nos preços de ferro gusa não tiveram impacto no sentido de reverter o déficit existente entre o estabelecimento anual de plantios e o consumo efetivo de agentes redutores. Pelo contrário, o déficit aumentou em períodos em que o preço do ferro aumentou significativamente (pesquisa em SINDIFER/ALICEWEB/AMS 2007, 2008). Esta relação pouco elástica entre o estabelecimento de plantios e seu uso final corrobora os grandes riscos percebidos no investimento em plantios, o que ajuda a explicar a predominância do carvão mineral, uma *commodity* global, de fácil acesso e não-escassa.

Prevalência de tecnologias ineficientes de carbonização: Boa parte da conversão

48 Diversas organizações governamentais e não-governamentais têm publicado relatórios sobre o *status* dos plantios e das fontes de suprimento da madeira, bem como sobre déficits específicos de plantios com a finalidade de produzir carvão vegetal no Brasil, incluindo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Banco de Desenvolvimento Social e Econômico (BNDES), o Ministério do Meio Ambiente (MMA), a Sociedade Brasileira de Silvicultura (SBS), o Instituto Brasileiro de Pesquisa Florestal (IPEF), a Associação de Silvicultura de Minas Gerais (AMS, antiga ABRACAVE), a Universidade de Viçosa (UFV), a Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), a STCP Engenharia, a Associação de Defesa do Meio Ambiente de Minas Gerais (AMDA), entre outras.

de madeira em carvão vegetal no Brasil ainda se baseia em tecnologias ineficientes, intensivas em emissões de GEE, inclusive CH_4 . Esses processos ainda são comuns mesmo quando a madeira é proveniente de fontes renováveis. Nos casos de práticas ilegais de carbonização da madeira, baseadas no uso de madeira proveniente de desmatamento, o dano ambiental pode ser ainda maior. Situações clandestinas agravam, além disso, as condições de trabalho.

Comunicação Social: Existe significativa falta de informação e comunicação entre os agentes econômicos envolvidos na cadeia produtiva e a sociedade civil, em relação aos impactos positivos e às formas de mitigar eventuais impactos negativos associados ao cultivo de madeira em grande escala e à produção de carvão vegetal. Isso pode resultar em dificuldades para a formulação de políticas públicas e na definição do marco regulatório.

Riscos relativos ao marco regulatório: Apesar de a lógica da produção de florestas plantadas (silvicultura) ser a mesma da agricultura, o marco regulatório para o setor é diferente. Um exemplo é a necessidade de licença para colheita e transporte de madeira de florestas plantadas, o que não ocorre com a colheita de outras culturas, e que gera entraves adicionais. Entretanto, a dificuldade para superar esse tipo de obstáculo não está vinculada somente à simples necessidade de desburocratização, mas a medidas que garantam o controle da origem da madeira.

Em geral, as regulamentações ambientais e as leis sobre o plantio de árvores no Brasil são complexas e o processo de licenciamento ambiental geralmente não leva menos de seis meses para ser concluído, apesar de diversos esforços recentes de simplificação. Certas características do marco regulatório são inerentes à natureza do tema, ao uso do solo no Brasil e à necessidade de conciliação do desenvolvimento econômico com o socioambiental. No entanto, ainda que sejam interpretadas como dificuldades naturais e necessárias, essas características ganham magnitude quando comparadas com as respectivas características regulatórias do uso do principal insumo concorrente (carvão mineral). Investidores que optam pela importação do carvão mineral, por exemplo, não estão sujeitos a um processo ambiental dessa natureza, o que impacta a análise de custo de oportunidade. Outro exemplo é a necessidade de aquisição de uma significativa quantidade de terra para a preservação de áreas de reserva legal e áreas de preservação permanente, conforme explicado anteriormente.

Medidas como as que foram exemplificadas acima são necessárias para a garantia da sustentabilidade do processo, mas influem na decisão de utilização de diferentes agentes termo-redutores. A internalização de custos ambientais em relação ao uso do carvão vegetal não vem acompanhada, necessariamente, de uma receita marginal equivalente como contrapartida pelo benefício ambiental gerado. Portanto, a avaliação de custo de oportunidade de utilização do carvão vegetal renovável é muitas vezes penalizada em relação à utilização de produtos substitutos, como o carvão mineral, caracterizando a existência de *trade-offs* em relação a aspectos econômicos e aspectos ambientais.

3.2.3 *Medidas de Superação das Barreiras e Impedimentos*

O conjunto de medidas que poderiam ser adotadas visando superar as barreiras mencionadas acima é apresentada na Tabela 32, a seguir.

Tabela 32: Medidas de superação propostas

Identificação das medidas propostas	Categoria	Descrição
(i)	Retificatória	Revisar os atuais instrumentos nacionais de financiamento, inclusive no âmbito do BNDES e do BB Florestal e dos Fundos Constitucionais, com o objetivo de facilitar e ampliar a disponibilidade de crédito para a cadeia produtiva do uso de carvão vegetal renovável na siderurgia, incluindo o plantio de florestas, tecnologias de carbonização, uso de co-produtos e termo-redução.
(ii)	Retificatória	Estimular os bancos públicos e privados a reconhecerem os ativos florestais como garantias reais durante o processo de avaliação de risco para empreendimentos do setor.
(iii)	Incremental	Estimular e apoiar a utilização do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Quioto, como fonte adicional de recursos e de financiamento, aproveitando a existência de metodologias que já cobrem parte significativa da cadeia produtiva.
(iv)	Retificatória	Revisar o marco regulatório do setor à luz da natureza da atividade de cultivo madeireiro, tendo em vista as sinergias entre aspectos federais e estaduais, com o objetivo de otimizar o processo de licenciamento ambiental, sobretudo em relação aos seguintes aspectos: simplificação do processo de licenciamento para o cultivo de madeira em áreas degradadas, subutilizadas ou previamente cobertas por outras culturas; simplificação dos processos de licenciamento para colheita e transporte, sem prejuízo da integridade ambiental.
(v)	Incremental	Reforçar a estrutura de fiscalização do uso ilegal de carvão vegetal não-renovável, proveniente de práticas ilegais de desmatamento, a partir de (i) mecanismos de comando e controle no âmbito do Estado e (ii) de medidas que incentivem a valorização de produtos baseados no cultivos sustentável da madeira e a desvalorização de produtos baseados em práticas de desmatamento, por parte de compradores ao longo da cadeia produtiva e do consumidor final.
(vi)	Incremental	Incluir o carvão vegetal renovável (biocombustível sólido) e seus derivados (alcatrão e biogás de carbonização) na política brasileira de biocombustíveis e na agenda dos respectivos órgãos de regulação, fomento e promoção no Brasil e no exterior.
(vii)	Incremental	Elaborar um programa de comunicação e educação ambiental, numa parceria entre governo e a sociedade civil, incluindo o setor privado, com o objetivo de melhor informar a população brasileira acerca de alternativas como o uso sustentável de florestas plantadas para produção de ferro e aço
(viii)	Incremental	Estimular pesquisas aplicadas sobre processos mais eficientes de conversão de madeira em carvão vegetal e sobre o aproveitamento dos co-produtos do processo (e.g. aproveitamento do alcatrão e utilização dos gases da combustão).

Implicações: “Stakeholders” ganhadores e perdedores

Além dos benefícios climáticos, dos co-benefícios ambientais e dos possíveis efeitos negativos analisados acima, uma análise sintética sobre as perdas e ganhos para diferentes *stakeholders* envolvidos no Cenário de Baixo Carbono é apresentada a seguir.

148

Empresas da cadeia produtiva da siderurgia:

Produtores de carvão vegetal: com o consequente aumento na demanda pelo insumo, empresas dedicadas à produção de carvão vegetal renovável proveniente de florestas plantadas poderiam se beneficiar com a possível criação de um mercado estruturado do insumo. Atualmente, esse mercado é pouco estruturado e a maior parte das empresas que consomem carvão vegetal renovável internaliza a produção do insumo. Por outro lado, os produtores de carvão vegetal não-renovável (de florestas nativas) sofreriam perdas substanciais, na medida em que os incentivos aos plantios florestais e o maior rigor na legislação poderiam praticamente eliminar as atividades baseadas no desmatamento e no uso insustentável de carvão vegetal não-renovável. Em uma economia de mercado eficiente, esse fluxo de perdas e ganhos não resultaria em perdas líquidas de arrecadação e emprego. Ao contrário, os atores envolvidos em atividades insustentáveis poderiam ser absorvidos pelas novas atividades sustentáveis. No entanto, políticas públicas de apoio e capacitação coletiva a essa transição seriam necessárias para garantir a lógica do processo e diminuir resistências políticas (ver relatório de Energia).

Produtores de carvão mineral: considerando que o Cenário de Baixo Carbono contempla um crescimento absoluto significativo da produção siderúrgica a carvão mineral e que a maior parte do carvão mineral consumido pela siderurgia no Brasil é importada, os produtores nacionais de carvão mineral não sofreriam impactos negativos significativos, já que ainda haveria espaço para um crescimento significativo da produção nacional, sujeita à viabilidade técnica.

Indústrias siderúrgicas: Naturalmente, os produtores de ferro que utilizam o carvão vegetal também seriam beneficiados com as novas políticas, já que a implementação do Cenário de Baixo Carbono diminuiria as incertezas e as barreiras associadas ao uso de carvão vegetal renovável na siderurgia, aumentando a segurança de suprimento e diminuindo a aversão aos riscos de investimentos. Seriam perdedores aqueles produtores que se baseiam deliberadamente no uso de carvão vegetal não-renovável em larga escala, como forma de evitar investimentos significativos, gerando concorrência desleal.

De maneira análoga ao que ocorreria com os produtores de carvão mineral, as indústrias siderúrgicas atualmente baseadas no carvão mineral também não sofreriam impactos negativos, pois as premissas fundamentais dos Cenários de Baixo Carbono não implicam nenhuma alteração de investimentos já consolidados ou em fase de implementação. Mesmo nos Cenários de Baixo Carbono, o uso de carvão mineral continuaria a ser o agente termo-redutor dominante, em função do aumento absoluto em sua produção e da inviabilidade técnico-econômica de sua utilização na maior parte dos casos. Porém, o pressuposto maior e ao mesmo tempo o grande desafio de quaisquer das hipóteses de Cenário de Baixo Carbono seria atenuar as diversas

barreiras e gerar incentivos adicionais significativos para que parte das futuras expansões, a serem planejadas, seja feita com base no uso de carvão vegetal renovável. Caso isso não ocorra, as hipóteses de Cenários de Baixo Carbono tornam-se inviáveis e o Cenário de Referência mencionado no item 2.2.3 deste estudo tende a prevalecer. Se mantidas as atuais condições econômicas, tecnológicas, logísticas e institucionais, o potencial aumento da participação relativa do carvão vegetal renovável não seria viável e quaisquer restrições ao uso de carvão mineral poderiam prejudicar a competitividade do parque siderúrgico nacional,

De fato, os benefícios climáticos associados à produção a carvão vegetal renovável e o potencial aumento da participação deste termo-redutor no mercado até 2030, poderiam ajudar a trazer equilíbrio às emissões oriundas da maior parte da produção nacional, que continuaria a ser baseada no carvão mineral. Se as emissões do setor siderúrgico brasileiro forem analisadas como um todo, a siderurgia a carvão mineral do Brasil pode, na verdade, se beneficiar com a ampliação do uso de carvão vegetal renovável, na medida em que a intensidade em carbono do setor poderia se tornar e se consolidar como uma das menores, senão a menor, do mundo. Se as potenciais remoções líquidas forem consideradas e atribuíveis ao setor, o impacto positivo no balanço de emissões seria ainda mais significativo. Portanto, o carvão vegetal renovável poderia ser uma alternativa complementar e não excludente ao uso de carvão mineral, no contexto de uma parceria para o desenvolvimento sustentável do setor siderúrgico no país.

No entanto, diante dos custos marginais positivos, seria fundamental que a externalidade climática positiva, gerada pelas hipóteses de Cenários de Baixo Carbono, fosse precificada e convertida em receita marginal, de modo a evitar que o cenário gere perdas econômicas para as diversas empresas do setor. Daí a importância destacada do MDL, do mercado de carbono e de outros mecanismos similares nesse contexto.

Outros atores da sociedade civil:

Outros prováveis ganhadores em um novo cenário com as políticas propostas seriam as populações rurais em regiões localizadas nas imediações (em um raio de cerca de 300 a 500 km de distância) dos pólos de produção siderúrgica. Estas populações se beneficiaram com a ampliação de novas oportunidades de empregos rurais vinculadas à cadeia produtiva/florestal do carvão vegetal renovável, como biocombustível sólido. Da mesma forma, as municipalidades onde ocorreria o estabelecimento dos plantios florestais e produção de carvão vegetal seriam beneficiadas pelo aumento de arrecadação devido à ampliação das atividades econômicas em suas zonas rurais.

Governo:

Um importante benefício para a gestão pública, atribuível à implantação do Cenário de Baixo Carbono, seria o aumento da rastreabilidade, da transparência e da capacidade de monitoramento em relação a aspectos fiscais e socioambientais da cadeia produtiva dos empreendimentos siderúrgicos, especialmente aqueles de pequeno porte. Isso poderia resultar em uma redução significativa dos custos de fiscalização governamental, especialmente no que se refere às medidas de controle de origem da biomassa.

3.3 Remoção de carbono por restauro florestal

Como já ficou ilustrado no Capítulo 2, existe algum potencial para remoção de CO₂ através do crescimento natural de florestas degradadas, que já foi mencionado no Cenário de Referência. Entretanto, devido aos obstáculos de natureza botânica mencionados anteriormente, permanece limitado o potencial de captura de carbono associado ao crescimento natural. Apesar desses desafios, vários estudos e projetos já demonstraram que o plantio de florestas pode promover o restabelecimento acelerado da cobertura de plantas nativas; esses plantios induzem mudanças microclimáticas, que favorecem a germinação e o estabelecimento de brotações e a geração de uma camada de serrapilheira e húmus que aumentam a fertilidade do solo. Ainda, a sombra das árvores jovens ajuda a suprimir as gramíneas invasoras. Por causa das grandes áreas de ecossistemas degradados, como terras abandonadas de pastagem e de agricultura, onde poderiam ser implementadas atividades de restauro florestal, essas atividades podem representar significativo potencial de remoção de carbono no Brasil.

Para avaliar o potencial de remoção de CO₂ obtido através do restauro de florestas nativas, o estudo desenvolveu um modelo de potencial de biomassa nos biomas mais promissores: o Cerrado e a Mata Atlântica. Esta metodologia foi apresentada no Capítulo 2. Esses biomas, que abrigaram grandes áreas florestais no passado, foram severamente agredidos pelo desmatamento ao longo dos últimos 200 anos.

3.3.1 *O potencial de remoção de carbono resultante de um “Cenário da Legalidade” para o restauro florestal*

A estimativa do potencial de remoção do carbono através do restauro florestal exige o estabelecimento de metas para essas atividades. Como resultado de consultas com representantes do governo, este estudo adotou como meta a obediência à lei florestal com relação às áreas de preservação florestal e reservas. Os custos de implementação dessa meta são analisados no Capítulo 7.

O maior potencial de reflorestamento para remoção de carbono no Brasil considerado por este estudo gira em torno de um “Cenário da Legalidade”, que envolve a obediência e a aplicação das leis que regem o manejo e a utilização de matas ciliares e reservas legais (Quadro 2). A estimativa desse potencial envolve um cálculo com duas etapas: (i) determinação da área exigida para obediência da legislação e (ii) estimativa do potencial de remoção de CO₂ resultante do restauro da floresta nativa nessa área.

Áreas de Preservação Permanente

As Áreas de Preservação Permanente (APP) são áreas florestais, encontradas às margens de rios, lagos e outros corpos aquáticos, que preservam os recursos hidrológicos, evitam a erosão do solo, mantêm a paisagem e a estabilidade geológica, assegurando o bem-estar de seres humanos. No caso das matas ciliares no Brasil, a largura da APP depende da largura do rio (Tabela A).

Tabela A: Comparação da largura do rio e da APP

Largura do rio (m)	Largura da APP (m)
Até 10	30
10–50	50
50–200	100
200–600	200
Mais de 600	500

Reservas Legais

Reservas Legais são áreas no interior de propriedades ou terrenos rurais brasileiros (com exceção das APP) que são vitais para o uso sustentável dos recursos naturais, para a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e para a conservação da biodiversidade. O percentual de terra separado como reserva legal varia por bioma:

- 80%, em propriedade rural localizada na Amazônia Legal;
- 35%, em propriedade rural situada em área de cerrado e localizada na Amazônia Legal;
- 20%, em propriedade rural situada em áreas de floresta ou outras formas de vegetação nativa nas demais regiões do país, principalmente a Mata Atlântica.

Para estimar a quantidade de terras necessárias para atender às disposições da Lei de Reservas Legais, este estudo utilizou a área do município como base para cálculo do percentual da reserva legal. Excluiu as unidades de conservação (UCs), as terras indígenas, as APPs dos principais cursos d’água, áreas com declividade superior a 15%, solos inadequados e áreas urbanas. Foram usados os percentuais de reservas legais definidos pelo Código Florestal. Além disso, foram excluídas áreas com vegetação nativa, incluindo vegetação secundária, savanas e florestas. A área que restou foi igual à área para restauro florestal em cumprimento da Lei de Reserva Legal.

Para estimar o potencial de remoção, a equipe do estudo supôs que as áreas de reserva legal a serem restauradas seriam reflorestadas de forma gradual até 2030, quando seria atingida a situação de legalidade plena. A partir de 2010, seria deduzido a cada ano 1/21 da área total a ser reflorestada da área disponível para produção agrícola. O passivo ambiental para o país foi estimado como sendo cerca de 44 milhões de ha, dos quais aproximadamente um terço estaria localizado na região amazônica (Tabela 33).

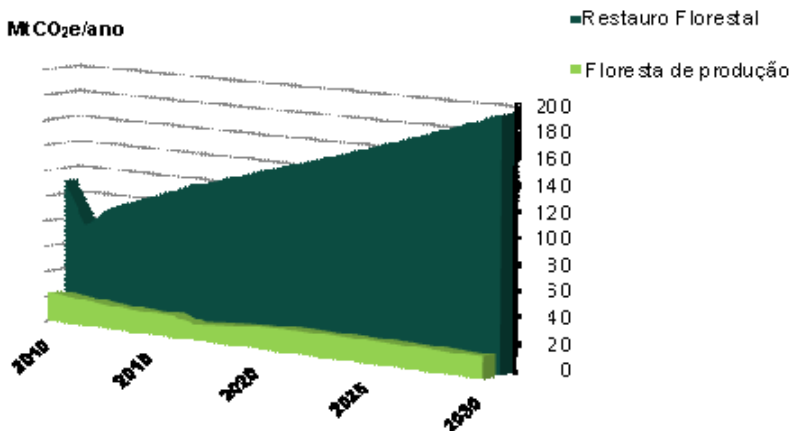
Tabela 33: Área necessária para reflorestamento de acordo com a Lei de Reservas Legais do Brasil, por estado

Estado	Área para reflorestamento (ha)	Estado	Área para reflorestamento (ha)
Mato Grosso do Sul	3.398.792	Acre	721.161
Mato Grosso	9.465.888	Amazonas	34.848
Goiás	2.611.730	Roraima	46.757
Distrito Federal	0	Pará	11.369.199
Maranhão	40.959	Amapá	0
Piauí	0	Tocantins	1.644.537
Rio Grande do Norte	3.062	Paraná	1.711.257
Paraíba	27.167	Santa Catarina	398.679
Pernambuco	58.239	Rio Grande do Sul	1.184.241
Alagoas	91.861	Minas Gerais	2.682.095
Sergipe	118.800	Espírito Santo	205.436
Bahia	242.079	Rio de Janeiro	178.087
Rondônia	4.794.589	São Paulo	3.314.927
Total para o Brasil: 44.344.390 ha			

Fontes: ICONE, UFMG.

Na base dos resultados da modelagem apresentada no Capítulo 2, o estudo estimou o potencial de remoção de carbono para o “Cenário da Legalidade” como sendo aproximadamente 2.9 GtCO₂ durante o período estudado, ou seja, cerca de 140 MtCO₂e por ano até 2030 (Figura 32).⁴⁹

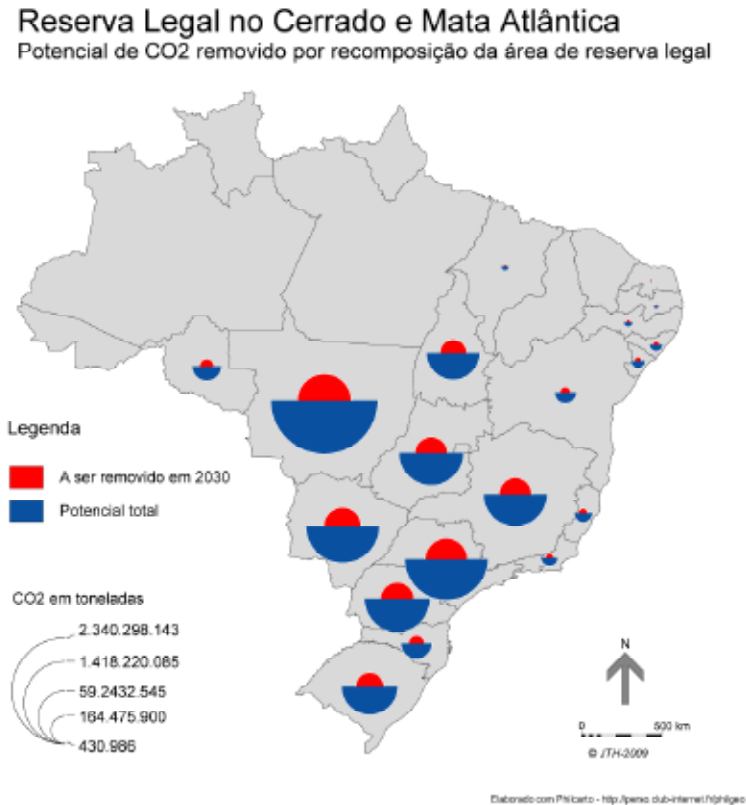
Figura 32: Potencial de remoção de carbono das atividades de restauração florestal e florestas de produção



⁴⁹ Se a remoção de carbono através da regeneração natural de florestas degradadas fosse incluída, o potencial de remoção aumentaria em 112MtCO₂e por ano, em média.

Entretanto, como o acúmulo de biomassa em florestas nativas recém-plantadas continua por um longo período de tempo, muitas vezes demorando mais de 100 anos antes de atingir um clímax, a restauração florestal de reserva legal se apresenta como uma medida cujo potencial de remoção de carbono ultrapassa o horizonte desse estudo. O Mapa 24 apresenta, por Estado, os potenciais de remoção obtidos em 2030 e os potenciais totais.

Mapa 24: Potencial de remoção de CO₂ por restauração florestal em 2030 e o potencial total de remoção



É importante notar que a observação das disposições referentes às reservas legais implica em liberar a terra correspondente, atualmente ocupada por outras atividades (por exemplo, plantio ou pastagem). Isso quer dizer que o uso da terra e a mudança no uso da terra projetados no Cenário de Referência (Capítulo 2) precisariam ser revistos. Essa revisão seria significativa, uma vez que a área liberada para a aplicação da lei florestal seria igual a mais do que o dobro da área desmatada estimada no Cenário de Referência. Com isso, corre-se o risco de ver os benefícios conquistados pela remoção de carbono resultante das atividades desenvolvidas nas florestas parcialmente perdidos, devido à maior conversão de vegetação nativa para acomodar as plantações e pastagens deslocadas pelas reservas legais restauradas.

3.3.2 *Barreiras limitando o Restauo Florestal e pistas para superá-las*

O restauro florestal se defronta com várias barreiras que podem ser agrupadas em duas grandes categorias, a primeira sendo de natureza ecológica e a segunda de natureza econômica, como descritas a seguir.

Barreira de Natureza Ecológica: o principal fator ecológico da recomposição natural consiste no fato de que as espécies dominantes possam se regenerar naturalmente, sem a necessidade de plantios no longo prazo. Entretanto, dependendo do grau de degradação do ecossistema, além deste fenômeno não ocorrer, a colonização da área por espécies arbóreas e a sucessão secundária também são prejudicadas. As seguintes barreiras podem ser apontadas como fatores limitantes para a regeneração natural em áreas como pastos e culturas agrícolas abandonadas:

- **Ausência de propágulos:** a falta ou baixa disponibilidade de um banco de sementes adequado no solo, a ausência de dispersores e a dificuldade das sementes em atingirem o solo devido à elevada biomassa de gramíneas;
- **Falhas no recrutamento de plântulas:** nesse cenário, mesmo que haja um banco de sementes adequado, a predação destas sementes e a herbivoria em plântulas jovens, além da competição com as gramíneas, dificultam o restabelecimento natural da cobertura vegetal;
- **Outros fatores:** além das causas citadas anteriormente, a ocorrência de queimadas, superexploração das áreas, a ausência de simbioses e polinizadores podem ser considerados importantes barreiras aos mecanismos de regeneração natural.

Apesar de estes fatores dificultarem a regeneração natural de florestas nativas, diversos trabalhos científicos têm demonstrado que os plantios florestais podem eliminar essas barreiras, possibilitando e acelerando o restabelecimento da cobertura vegetal nativa. O efeito das plantações reside nas mudanças microclimáticas que acarretam, favorecendo a germinação e o estabelecimento das plântulas, gerando uma camada de serrapilheira e húmus que aumenta a fertilidade do solo. Além disso, a sombra gerada pelas árvores jovens em crescimento contribui para a supressão das gramíneas invasoras.

Barreira de Natureza Econômica: é observada atualmente no Estado de São Paulo, que tem mais de um milhão de hectares de déficit de matas ciliares: apesar de o governo deste estado ter criado programas de reflorestamento, por exemplo, o Projeto de Restauro de Florestas secundárias, com financiamento do GEF, e do Governo Federal ter disponibilizado linhas de crédito para a recomposição de matas nativas nas propriedades rurais, não chega a mil hectares o total de áreas cadastradas para recomposição dessa vegetação por proprietários rurais. Como ressaltado anteriormente, os elevados custos de restauração, aliados à perda de área produtiva, são as principais barreiras de cunho econômico na implementação de atividades de restauração florestal em grande escala.

A adesão voluntária de proprietários a programas de reflorestamento que visem a recomposição destas áreas é bastante incomum. De maneira geral, os restauros

florestais ocorrem na maioria das vezes, por obrigações judiciais, como termos de ajuste de conduta e compensações florestais. Entretanto, as seguintes medidas podem fornecer fontes consideráveis de recursos para o desenvolvimento de projetos de restauração florestal:

Regulamentação do mercado voluntário de compensação de emissões: O mercado voluntário de compensação de emissões corporativas de gases de efeito estufa tem um enorme potencial de contribuir para a restauração florestal de áreas que estão inseridas no Cenário de Baixo Carbono (legalidade). Atualmente este mercado não está regulado e não tem fatores de emissão claros em muitos inventários. Além disso, existe uma falta de padrão no que tange ao potencial de remoção de carbono pelas árvores plantadas com a finalidade de compensação, visto que essas compensações são costumeiramente realizadas por meio do plantio de árvores. Adicionalmente, não se tem conhecimento sobre onde são plantadas as árvores de boa parte das organizações e empresas que realizam as compensações, de modo que a criação de alguns mecanismos legais que restrinjam o plantio de árvores decorrentes de compensações de GEE em áreas de preservação permanente é uma medida essencial para o cumprimento do cenário da legalidade no longo prazo.

Simplificação do licenciamento ambiental de atividades de restauração florestal: Atividades florestais que visem a recuperação de áreas degradadas com a utilização de espécies nativas devem possuir exigências simplificadas no que se refere ao licenciamento ambiental desta atividade, eliminando a burocracia e agilizando a implementação deste tipo de projeto.

Derrogação do Regime de Servidão Florestal: O Regime de Servidão Florestal estabelecido pelo Código Florestal permite a compensação do passivo ambiental de uma determinada propriedade em outra propriedade localizada na mesma microbacia, desde que esta possua uma área florestada que exceda os limites estabelecidos pelo Código Florestal. Entretanto, com a lei da Mata Atlântica, que proíbe o desmatamento de qualquer área que se encontra em estágio intermediário ou avançado de regeneração, este regime assume um caráter perverso, pois o proprietário averba um excedente de floresta em sua propriedade para cumprir a obrigação de outro proprietário, que por sua vez deixa de reflorestar dentro de sua propriedade.

Estímulo à modalidade programática de MDL florestal: A modalidade programática de MDL florestal pode ser considerada com um avanço dentro do MDL para alavancar grandes programas de recuperação florestal por meio de atividades programáticas. Entretanto, devido ao risco percebido e ao longo processo de validação e aprovação que essa modalidade ainda apresenta, ela não se desenvolveu na proporção que merece, agregando-se novas áreas de restauração. Essas áreas devem ser agregadas ao Programa de Atividades no decorrer do projeto, sem a necessidade de percorrer novamente todo o ciclo de validação e aprovação a que um projeto de MDL tradicional está condicionado. Desta forma, o apoio governamental ao MDL florestal programático se apresenta como uma política pública que pode gerar recursos adicionais aos programas de recuperação de matas ciliares. É necessário um apoio do Estado para que a resistência que essa modalidade ainda apresenta seja superada.

Fomento do mercado de produtos florestais não-madeireiros: A coleta e comercialização de frutas nativas, resinas vegetais, mel e outros produtos florestais

não-madeireiros valoriza substancialmente as florestas nativas, servindo de fomento para a restauração florestal de áreas legalmente protegidas e gerando renda para as comunidades locais, devendo ser fomentadas.

Incentivos fiscais: É necessário que os proprietários rurais cujas propriedades não apresentem passivos de cobertura vegetal recebam incentivos fiscais que se aproximem o máximo possível do custo de oportunidade da terra. Esses incentivos podem ser na ordem de isenção de impostos/taxas ou mesmo de disponibilização de linhas de crédito a juros reduzidos e prazos de carência maiores. Essa medida estimularia proprietários rurais com passivos de vegetação natural a eliminar esses passivos e restabelecer a cobertura vegetal natural em suas propriedades.

Educação ambiental. Para tanto, são necessários programas de educação ambiental e de sensibilização das populações rurais e dos proprietários de terras sobre a importância que as florestas têm para o meio ambiente e para toda a cadeia produtiva no setor agropecuário. Além disso, é necessário disseminar conhecimento a respeito de modelos apropriados de recuperação florestal por meio de programas educativos, capacitando a população rural e os proprietários sobre a importância das florestas em nossa sociedade.

3.3.3 *Políticas de apoio ao reflorestamento*

No âmbito das reduções de emissões e remoção de carbono nos biomas do Cerrado e da Mata Atlântica, os principais instrumentos legais que fornecem algum tipo de garantia à manutenção destes biomas e à preservação dos estoques de carbono são o Código Florestal e a Lei da Mata Atlântica.

O Código Florestal

O Código Florestal institui dois tipos distintos de áreas dentro da propriedade que não podem ser desmatadas: a Área de Preservação Permanente (APP) e a Reserva Legal (RL). As APPs são definidas em função de determinantes geográficos, como as matas ciliares, que correspondem à vegetação localizada ao longo dos rios, cuja largura varia de 30 a 500 metros, e as matas localizadas em topos de morro e encostas com declividade superior a 45 graus. A Reserva Legal (RL) corresponde a um percentual de vegetação da propriedade, excluídas as APPs, que também não podem ser desmatadas. O limite de Reserva Legal é definido por bioma, a saber:

- 80%, em propriedade rural localizada na Amazônia Legal;
- 35%, em propriedade rural situada em área de cerrado e localizada na Amazônia Legal;
- 20%, em propriedade rural situada em áreas de floresta ou outras formas de vegetação nativa nas demais regiões do país, principalmente a Mata Atlântica.

O regime de Servidão Florestal

O Código Florestal possui um mecanismo de flexibilização bastante utilizado no caso da regularização da Reserva Legal: o regime de servidão florestal. Por meio deste mecanismo, o proprietário rural que não contenha em sua propriedade o mínimo exigido pela legislação de Reserva Legal poderá fazer a compensação deste déficit através do regime de Servidão Florestal. Isto significa que este proprietário pode alienar uma área florestal equivalente ao seu déficit em outra propriedade que possua excedente de vegetação, desde que localizado na mesma microbacia.

A Lei da Mata Atlântica

A Lei da Mata Atlântica vai além do Código Florestal, estabelecendo limites para o desmatamento da vegetação que excede a Reserva Legal. Na prática, impõe limites de desmatamento de fragmentos de vegetação em estados variados de regeneração, a saber:

- Regeneração avançada: pode ser desmatada apenas em caráter excepcional, quando necessário à execução de obras de interesse público, pesquisa científica e práticas preservacionistas;
- Regeneração média: além do exposto acima, quando necessário ao exercício de atividades e usos agropecuários do pequeno produtor rural e comunidades tradicionais, que sejam imprescindíveis à subsistência destes;
- Regeneração inicial: nos estados em que o remanescente total de Mata Atlântica for inferior a 5%, esse estágio de regeneração seguirá o mesmo regime jurídico da vegetação em estágio médio de regeneração.

Vale ressaltar que, em qualquer estágio de regeneração, o corte e a supressão da vegetação deve ser previamente autorizado pelo órgão estadual competente.

Programa Nacional de Florestas - PNF

Lançado pelo Governo Federal em 2000, o Programa Nacional de Florestas - PNF tem como objetivo geral *“a promoção do desenvolvimento sustentável, conciliando a exploração com a proteção dos ecossistemas e a compatibilização da política florestal com os demais setores de modo a promover a ampliação do mercado interno e externo e o desenvolvimento institucional do setor”*.

Desta forma, o PNF envolve os aspectos ambientais, sociais e econômicos do setor florestal brasileiro, englobando entre seus objetivos específicos:

- O estímulo do uso sustentável de florestas nativas e plantadas;
- O fomento das atividades de reflorestamento, notadamente em pequenas propriedades rurais;

- A recuperação das florestas de preservação permanente, de reserva legal e áreas alteradas;
- O apoio às iniciativas econômicas e sociais das populações que vivem em florestas;
- A repreensão de desmatamentos ilegais e da extração predatória de produtos e subprodutos florestais, para conter queimadas acidentais e prevenir incêndios florestais;
- A promoção do uso sustentável das florestas de produção nacionais, estaduais, distritais ou municipais;
- O apoio do desenvolvimento das indústrias de base florestal;
- A ampliação dos mercados interno e externo de produtos e subprodutos florestais;
- A valorização dos aspectos ambientais, sociais e econômicos dos serviços e dos benefícios proporcionados pelas florestas públicas e privadas;
- O estímulo à proteção da biodiversidade e dos ecossistemas florestais.

O PNF disponibiliza linhas de crédito por meio dos Fundos listados a seguir.

Principais linhas de crédito

PRONAF - Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar

O Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF) destina-se ao apoio financeiro das atividades agropecuárias e não-agropecuárias exploradas mediante emprego direto da força de trabalho do produtor rural e de sua família. Possui uma modalidade específica para o setor florestal, o PRONAF-FLORESTA, que é destinado ao financiamento de projetos de silvicultura e sistemas agroflorestais e exploração extrativista sustentável, para produtores rurais.

As seguintes categorias são passíveis de crédito no PRONAF-FLORESTA:

- A. Agricultores familiares e trabalhadores rurais que:
 - Explorem parcela de terra na condição de proprietário, posseiro, arrendatário, parceiro ou concessionário do Programa Nacional de Reforma Agrária;
 - Residam na propriedade ou em local próximo;
 - Não disponham, a qualquer título, de área superior a quatro módulos fiscais, quantificados segundo a legislação em vigor;

- Obtenham, no mínimo, 80% da renda familiar da exploração agropecuária e não-agropecuária do estabelecimento;
 - Tenham o trabalho familiar como predominante na exploração do estabelecimento, utilizando apenas eventualmente o trabalho assalariado, de acordo com as exigências sazonais da atividade agropecuária;
 - Obtenham renda bruta anual familiar acima de R\$ 1.500,00 e até R\$ 10.000,00, excluídos os proventos vinculados a benefícios previdenciários decorrentes de atividades rurais.
- B. Agricultores familiares e trabalhadores rurais que:
- Explore parcela de terra na condição de proprietário, posseiro, arrendatário, parceiro ou concessionário do Programa Nacional de Reforma Agrária;
 - Residam na propriedade ou em local próximo;
 - Não disponham, a qualquer título, de área superior a quatro módulos fiscais, quantificados segundo a legislação em vigor;
 - Obtenham, no mínimo, 80% da renda familiar da exploração agropecuária e não-agropecuária do estabelecimento;
 - Tenham o trabalho familiar como predominante na exploração do estabelecimento, podendo manter até 2 empregados permanentes, sendo admitido ainda o recurso eventual à ajuda de terceiros, quando a natureza sazonal da atividade o exigir;
 - Obtenham renda bruta anual familiar acima de R\$ 10.000,00 e até R\$ 30.000,00 excluídos os proventos vinculados a benefícios previdenciários decorrentes de atividades rurais.

O PRONAF-FLORESTA possui taxa de juros de 4% ao ano e prazo de reembolso de até 12 anos, com carência máxima de 8 anos. Os limites de financiamento são de R\$ 6.000,00 para os beneficiários do grupo (A) e R\$ 4.000,00 para os do grupo (B).

PROPFLORA - Programa de Plantio Comercial e Recuperação de Florestas

Linha de crédito disponibilizada pelo BNDES, o PROPFLORA possui os seguintes objetivos gerais:

- Implantação e manutenção de florestas destinadas ao uso industrial;
- Recomposição e manutenção de áreas de preservação permanente e reserva florestal legal;
- Implantação e manutenção de espécies florestais para produção de madeira destinada à queima no processo de secagem de produtos agrícolas;

- Implantação de projetos silvopastoris (pecuária consorciada com floresta) e agroflorestais (agricultura consorciada com floresta);
- Implantação e manutenção de florestas de dendezeiros, destinadas à produção de biocombustível.

Como beneficiários se enquadram produtores rurais (pessoas físicas ou jurídicas), associações e cooperativas. O limite de teto por beneficiário é de R\$ 200.000,00 por ano, com taxa de juros de 6,75% ao ano. Os prazos de reembolso e os períodos de carência obedecem às seguintes faixas de variação:

- Até 144 meses, incluída a carência até a data do primeiro corte, acrescida de 6 meses e limitada a 96 meses, nos projetos de implantação e manutenção de florestas destinadas ao uso industrial e na produção de madeira destinada à queima no processo de secagem de produtos agrícolas;
- Até 144 meses, incluída a carência de até 12 meses, nos projetos para recomposição e manutenção de áreas de preservação permanente e de reserva legal;
- Até 48 meses, incluída carência de até 18 meses nos outros projetos para implantação de viveiros de mudas florestais.

Fundos Constitucionais de Financiamento

A Constituição Federal de 1988 destinou 3% do produto da arrecadação dos impostos sobre renda e proventos de qualquer natureza e sobre produtos industrializados para aplicação em programas de financiamento aos setores produtivos das Regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste. Ao destinar parte da arrecadação tributária para as regiões mais carentes, a União propiciou a criação dos Fundos Constitucionais de Financiamento do Norte (FNO), do Nordeste (FNE) e do Centro-Oeste (FCO), com o objetivo de promover o desenvolvimento econômico e social daquelas regiões, por intermédio de programas de financiamento aos setores produtivos.

Os produtores rurais, as firmas individuais, as pessoas jurídicas e as associações e cooperativas de produção que desenvolvam atividades nos setores agropecuário, mineral, industrial, agroindustrial, turístico, de infraestrutura, comercial e de serviços, podem solicitar financiamentos pelo FNO ao Banco da Amazônia S.A., no caso da Região Norte; pelo FNE, ao Banco do Nordeste do Brasil, no caso da Região Nordeste; e pelo FCO, ao Banco do Brasil S.A, no caso da Região Centro-Oeste. As linhas de crédito disponibilizadas por cada um destes Fundos que se relacionam ao setor florestal são sumarizadas a seguir.

FCO – Fundo Constitucional de Financiamento do Centro-Oeste

FCO PRONATUREZA: Esta linha de crédito disponibilizada pelo Banco do Brasil é parte do Fundo Constitucional do Centro-Oeste, onde boa parte dessa região se encontra na área de abrangência do bioma Cerrado. Seus possíveis beneficiários são os

produtores rurais (pessoas físicas ou jurídicas), associações e cooperativas. Esta linha de crédito possui os seguintes objetivos gerais:

- Manejo florestal sustentável;
- Reflorestamento para fins energéticos e madeireiros;
- Sistemas agroflorestais;
- Recuperação de áreas degradadas;
- Aquisição de máquinas e equipamentos;
- Projetos integrados – rural e industrial;
- Promoção de mercado.

FNE – Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste

Disponibilizada pelo Banco do Nordeste, esta linha de crédito possui uma alínea, o FNE VERDE, destinada ao financiamento de atividades produtivas com ênfase na conservação ambiental e itens de proteção ambiental das atividades produtivas em geral, contemplando empreendimentos de agropecuária orgânica, incluindo a conversão dos sistemas tradicionais para orgânicos, manejo florestal, reflorestamento, agro-silvicultura e sistemas agroflorestais, geração de energia alternativa, sistemas de coleta e reciclagem de resíduos sólidos, estudos ambientais, implantação de sistemas de gestão ambiental e certificação, tecnologias limpas e recuperação de áreas degradadas.

FNO – Fundo Constitucional de Financiamento do Norte

A atuação do FNO abrange os estados do Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins. Esse fundo oferece crédito a taxas de juros que variam, em função do porte do mutuário, de 8,75% a 14% ao ano, para as operações relativas aos setores industrial, agroindustrial, turístico, de infraestrutura, comercial e de serviços, estando incluídas as atividades de manejo florestal sustentável, que corresponde à alínea FNO Floresta.

Subprograma Projetos Demonstrativos – PDA

Implementado pelo Ministério do Meio Ambiente a partir de 1996 no âmbito do Programa Piloto para as Florestas Tropicais do Brasil (PPG7), o PDA apoia iniciativas inovadoras de organizações da sociedade civil no uso sustentável e preservação dos recursos naturais nos biomas Amazônia e Mata Atlântica, visando à melhoria da qualidade de vida das populações envolvidas.

Com essa orientação têm sido apoiadas iniciativas na Amazônia, na Mata Atlântica e em seus ecossistemas associados. No período 1996-2003 o PDA apoiou 194 projetos,

sendo 147 na Amazônia e 47 na Mata Atlântica. Os projetos desenvolveram ações nas áreas de sistemas agroflorestais e recuperação ambiental (incluindo a construção de viveiros), manejo de recursos florestais, manejo de recursos aquáticos e preservação ambiental. Atualmente, o PDA apoia projetos divididos em 3 componentes:

- a) Projeto Alternativas ao Desmatamento e à Queimada (PADEQ): com 49 projetos contratados nos estados do Pará, Mato Grosso, Rondônia, Roraima e Tocantins;
- b) Consolidação: visa fortalecer as experiências anteriormente apoiadas pelo PDA por meio da consolidação, de forma mais integrada, da sustentabilidade ambiental, econômica, social e institucional e atualmente apoia 31 grandes projetos, sendo 12 na Mata Atlântica e 19 na Amazônia;
- c) Ações de Conservação da Mata Atlântica: envolve 99 projetos aprovados, entre grandes e pequenos, distribuídos por quase todos os estados onde este bioma está presente.

3.4 Opções de mitigação na pecuária

Nos últimos anos têm se intensificado as pesquisas para mitigação das emissões de gases de efeito estufa por ruminantes e várias opções tecnológicas têm sido exploradas, particularmente tratando-se da manipulação de dietas dos animais. Entretanto, considerando que a pecuária brasileira é predominantemente conduzida em sistemas pastoris, muitas das opções de mitigação testadas em países desenvolvidos não se aplicam em larga escala.

Em razão da extensa área de pastagens degradadas existentes no Brasil, a recuperação dessas pastagens assume papel central. A redução da produtividade e qualidade da forragem e dos estoques de carbono e o baixo nível de produtividade animal repercutem em maior nível de emissão por unidade de produto nesse sistema. Além disso, esse tipo de sistema é extremamente demandante no que tange à demanda por terra e sua manutenção ou expansão estão associados à necessidade de abertura de novas áreas de vegetação nativa.

Sistemas mais intensivos, como os sistemas de integração lavoura-pecuária e de confinamento também possuem grande potencial de mitigar as emissões por elevarem a produtividade dos animais, reduzindo a emissão por unidade de produto e por diminuir a demanda por terra.

Em virtude de grande proporção das emissões brasileiras estarem associadas com o desmatamento no Brasil, enfoque será dado a essa alternativa. Também considera-se que existe potencial para redução das emissões caso esses sistemas mais tecnificados estejam associados a programas de pesquisa e incentivo ao melhoramento genéticos de forrageiras e ao melhoramento genético de animais. Na sequência apresenta-se uma síntese técnicas sobre as principais alternativas aplicáveis aos sistemas de produção brasileiros.

3.4.1 Principais opções consideradas para mitigar as emissões da pecuária

Recuperação de pastagens

Estima-se hoje que cerca de 60% das pastagens na região do Cerrado estão em algum estágio de degradação. A degradação da pastagem repercute em queda no estoque de carbono do solo, uma redução na taxa de lotação, aumento na perda de solo por erosão, e um aumento significativo na emissão de CO₂-e por kg de carne. Em contrapartida, a recuperação dessas áreas pode reverter cada um desses aspectos, levando a um aumento no sequestro de carbono do solo, um aumento na taxa de lotação, evitando a perda de solo por erosão, e reduzindo a emissão de CO₂-e por kg de carne.

Adoção de sistemas de Integração Lavoura-Pecuária

A integração lavoura-pecuária consiste na implantação de diferentes sistemas produtivos de grãos, fibras, carne, leite, combustíveis e outros, na mesma área, em plantio consorciado, sequencial ou rotacionado. Dentro da fazenda, o uso da terra é alternado, no tempo e no espaço, entre lavoura e pecuária (Vilela, 2008).

A integração dos sistemas de produção de carne e de grãos desponta como sendo uma das opções viáveis para o desenvolvimento de alternativas para o restabelecimento da capacidade produtiva das pastagens cultivadas. De acordo com o autor, entre os benefícios do sinergismo potencial entre pastagens e culturas anuais destacam-se: a) melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo; b) quebra de ciclo de doenças, pragas e plantas daninhas; c) redução de riscos econômicos pela diversificação de atividades, e, d) redução de custo na recuperação/renovação de pastagens em processo de degradação.

O aumento da produtividade animal, por meio da possibilidade de manutenção de melhores condições para a pastagem, possibilita melhoria dos índices zootécnicos e, portanto, redução das emissões de gases de efeito estufa por unidade de produto.

De acordo com Kichel et al. (2003), sistemas de integração lavoura-pecuária podem, quando associados a suplementação e confinamento, atingir taxas de lotação de 3 animais/ha, enquanto a média nacional é ao redor de 1 cab/ha. Em revisão recente, Martha Júnior et al. (2006) conclui que a amplitude de ganho de peso vivo em pasto de primeiro ano, em sistemas de integração lavoura-pecuária, tem variado de 9 a 40 arrobas de carcaça/ha/ano, em função da amplitude nas condições edafoclimáticas e de manejo do local, enquanto sistemas extensivos produzem, tipicamente, 3 a 5 arrobas de carcaça/ha/ano.

Magnabosco et al. (2003) em sistemas de recria e engorda de machos somente a pasto obtiveram taxas de lotação de 2,68 unidades animais (UA)/ha e 1,48 UA/ha na seca, com ganho de peso médio de aproximadamente 6 @/ano, o que é suficiente para viabilizar o abate de animais a pasto em menos de 30 meses.

Expansão da adoção da engorda confinada

A utilização desta tecnologia para a terminação dos animais por um período curto (60 a 120 dias) antes do abate oferece várias vantagens, dentre estas a redução da idade de abate, o aumento no peso da carcaça e na qualidade da carne, melhoria na taxa de desfrute do rebanho, e uma maior eficiência na utilização da terra. Tipicamente, os animais recebem uma dieta moderada ou lata em concentrados (grãos), associados a um alimento volumoso (ex. silagem de milho ou sorgo, cana picada). Desta forma, um animal ganhando 1,6 kg/dia em confinamento produz em 90 dias o que produziria em um ano um animal ganhando 0,4 kg/dia em pastejo. Ademais, na maioria das regiões brasileiras, a pecuária extensiva está sujeita a variações sazonais devido a diferenças em temperatura e precipitação. Nas épocas de escassez de forragem, os animais têm um desempenho baixo ou até negativo, o qual tem de ser recuperado na próxima estação chuvosa/quente. Desta maneira, o confinamento na fase final de terminação pode reduzir a idade de abate em mais de um ano, com uma redução significativa na produção de CH₄ por fermentação entérica.

Melhoramento da qualidade da forragem

De acordo com a FAO (2007), o potencial de mitigação de emissão de gases de efeito estufa por meio do melhoramento genético de espécies forrageiras permanece quase inexplorado. Entretanto, segundo o relatório, existem fortes indícios, a priori, de que essa pode ser uma abordagem com grande possibilidade de sucesso.

Duas são as principais vertentes quanto ao melhoramento genético de forrageiras tropicais para a redução da emissão de metano. A primeira é a quanto à qualidade nutricional *per se*. Aumento na digestibilidade e nos teores de carboidratos solúveis, bem como o aumento do consumo voluntário da forrageira podem gerar redução significativa no metano produzido por unidade de produto. Lovett et al (2004), por exemplo, demonstraram que aumentando o teor de carboidratos solúveis em azevém perene em 33g/kg gerou redução na produção de metano *in vitro* de 9%. Estima-se que pode haver uma redução da ordem de 15 – 28% nas emissões pelo uso de forrageiras melhoradas (FAO 2007).

A segunda é quanto à ocorrência de compostos antimetanogênicos nas plantas forrageiras. Johnson & Johnson (2002) citam diversos compostos que aparentam possuir tal efeito. Woodward et al (2001) determinaram redução da emissão de metano por ovinos e vacas leiteiras consumindo forrageiras ricas em taninos condensados. Ulyatt et al. (2002) determinaram que, sob determinadas condições, a emissão de metano foi severamente reduzida por ovinos e vacas leiteiras consumindo capim kikuyu (*Pennisetum clandestinum*), sugerindo a presença de compostos ainda não identificados.

Melhoramento genético do rebanho bovino

Os índices zootécnicos (ex.: taxas de natalidade e de desmame, ganhos de peso, idades do primeiro parto e ao abate, etc.) obtidos no Brasil ainda estão muito aquém,

se comparados aos de países mais desenvolvidos. Os índices brasileiros são baixos por vários motivos, dentre eles a qualidade das forrageiras tropicais, o próprio clima, a presença de doenças e parasitas e o potencial genético do rebanho. Este último fator se deve ao fato de que as raças bovinas taurinas utilizadas em países de clima temperado têm sofrido uma seleção genética durante séculos, portanto seu potencial produtivo é alto. Em comparação, o gado bovino zebuino utilizado no Brasil e em outros países de clima tropical, tem somente 130 anos nas Américas. A seleção genética não ocorreu na Índia, a sua origem, e até 20 anos atrás, tampouco aqui no Brasil. Hoje existem vários programas de avaliação genética no Brasil, incluindo o Programa de Melhoramento de Gado Zebu (ABCZ/Embrapa), o Programa Nelore Brasil (Associação Nacional de Criadores e Pesquisadores), o PAINT (Lagoa da Serra), entre outros. Estes programas diferem entre si, mas geralmente contemplam características de peso, precocidade sexual e habilidade materna. Nenhum destes programas inclui a eficiência alimentar, embora ela seja de interesse econômico. Além disso, animais com maior eficiência consomem menos alimento e produzem menos metano para o mesmo desempenho (Nkrumah et al., 2006). Estima-se que para a maioria das características de interesse econômico o progresso genético pode atingir 1%/ano; entretanto, no Brasil esse progresso geralmente gira em torno de 0,3%/ano (Lobo et al., 2009). O ganho genético realizado fica abaixo do ganho potencial por vários motivos: baixa adoção da tecnologia, baixa disponibilidade de animais melhoradores, a não-utilização das mais avançadas técnicas de seleção, a priorização de outras características (ex.: pelagem, tipo racial, etc.). Isto significa que o rebanho brasileiro é muito maior do que o necessário para suprir a demanda por carne - o que implica uma produção de CO_2 -e / kg de carne muito acima daquela dos países concorrentes. Por exemplo, o Brasil e os Estados Unidos são os maiores produtores de carne do mundo, com 9,47 e 11,98 milhões de toneladas em 2007, respectivamente, embora o rebanho bovino dos EUA seja a metade do rebanho brasileiro (NASS, 2010). Parte desta diferença está relacionada aos sistemas de produção, extensiva no Brasil e extensiva/intensiva nos Estados Unidos, com a maioria dos animais sendo terminados em regime de confinamento. Outra parte dessa diferença se deve ao menor potencial genético do rebanho brasileiro. Uma alternativa para reduzir a emissão de CO_2 -e ao mesmo tempo que se aumenta a produção de carne seria melhorar a qualidade genética do rebanho nacional.

3.4.2 *Barreiras e propostas para superação*

Adoção de sistemas mais produtivos:

A primeira barreira para a recuperação das pastagens e adoção de sistemas mais intensivos é a necessidade de capital para o investimento inicial para a transição do sistema produtivo. Como a atratividade econômica da atividade não é elevada, a existência de crédito, particularmente aquele para financiar a compra de animais para o aumento das taxas de lotação, é necessária. Caso a linha de financiamento não abranja a compra de animais é provável que o pecuarista subutilize os recursos forrageiros disponíveis pela falta de capital para a compra de animais.

Também há de se atentar para as baixas taxas de retorno da atividade, o que demandaria baixas taxas de juro para gerar suficiente atratividade. O desempenho

econômico bastante favorável da integração lavoura-pecuária justifica as ações do Governo Brasileiro nos últimos cinco anos (programas Prolappec, Produsa) no sentido de estimular a adoção desses sistemas, tanto para reduzir os riscos do negócio como para aumentar a renda no campo e para renovar áreas de pastagens degradadas, possibilitando a expansão agropecuária em áreas já antropizadas.

Políticas de incentivo ao abate precoce de animais também podem gerar ganhos de produtividade e redução das emissões. Um bom exemplo de política nesse sentido é o do Programa do Novilho Precoce no Estado do Mato Grosso do Sul. Nesse programa os animais abatidos em frigoríficos credenciados com tipificação de carcaça e denteição (como modo de avaliar a idade do animal) e apresentando peso mínimo desejado de carcaça ensejam ao produtor pecuário cadastrado um incentivo financeiro, pela redução no pagamento do ICMS de 16,67% a 66,67%. A adoção de política similar no âmbito nacional poderá incentivar a adoção de sistemas mais intensivos, não só nas fases de recria e engorda, mas também na fase de cria, uma vez que a melhor remuneração dos animais para o abate deverá se refletir em melhor remuneração dos bezerros, possibilitando maior intensificação da cria. Além disso, externalidades positivas como redução do abate clandestino, melhor conformação das carcaças e maior maciez da carne são esperados por uma política desse tipo.

Outra questão a ser considerada na adoção de sistemas mais intensivos é a maior demanda gerencial. Políticas públicas que promovam extensão rural e treinamento para pecuaristas são importantes para superar essa barreira.

Forrageiras geneticamente melhoradas

Considerando que todos os cenários avaliados no presente relatório contemplam a utilização extensiva de pastagens e que atualmente a bovinocultura de corte brasileira é realizada predominantemente nesse sistema, o impacto da utilização de forrageiras com menor potencial de produção de metano seria significativo sobre a emissão desse gás na atmosfera por animais ruminantes. Entretanto, os programas de melhoramento de forrageiras no Brasil têm atualmente, como prioritário, o desenvolvimento de materiais com características agronômicas favoráveis e resistência a pragas e doenças e não incorporam em seu protocolo a avaliação dos níveis de emissão, embora exista pesquisa em andamento testando técnicas de avaliação da produção de metano *in vitro* por plantas forrageiras.

Estima-se, atualmente, que um programa de pesquisa de melhoramento genético para lançamento de uma cultivar tenha um custo aproximado de R\$ 4 milhões de reais em um prazo de 12 anos. No contexto do melhoramento genético focado em qualidade e manejo, políticas públicas que promovam o financiamento de projetos nessa área, ainda não tida como prioritária na pesquisa agropecuária, estimulariam o direcionamento de esforços por universidades e instituições de pesquisa no intuito de selecionar forrageiras de melhor valor nutritivo, bem como as melhores estratégias de manejo para sua utilização, resultando no lançamento de cultivares com menor potencial de emissão de metano por ruminantes.

Uso de touros geneticamente superiores

O melhoramento genético tem retorno de prazo mais longo, o que, muitas vezes não é considerado como prioritário para o produtor em sistemas extensivos. Assim, programas que incentivem a avaliação de touros no país e o subsídio à aquisição de animais provados ou de boa linhagem podem contribuir, no médio prazo, para maior eficiência do setor e para a redução das emissões de gases de efeito estufa. Estima-se que sejam necessários aproximadamente 2.3 milhões de touros para o rebanho nacional (assumindo uma relação touro:vaca de aproximadamente 30:1). Considerando 50% de ágio dos animais melhorados sobre seu valor de abate, o que é comum no mercado, e uma vida útil do touro de 4 anos após o início do serviço, pode-se considerar que o valor total de subsídios para o rebanho nacional seria da monta de R\$ 350 milhões anuais. Como externalidades positivas para essa política haveria aumento da produtividade, melhor qualidade das carcaças e aumento das taxas de parição (considerando que os touros melhorados sejam submetidos a testes andrológicos).

O potencial de mitigação das emissões diretas da pecuária associado às opções de mitigação propostas depende do cenário adotado para substituição dos sistemas de produção de baixa produtividade por sistemas de mais alta produtividade: maior esta substituição, maior a redução das emissões diretas da pecuária. Como os sistemas mais produtivos permitem atingir o mesmo nível de produção com áreas de pastagens menores, este cenário foi construído a partir das necessidades de liberação de pastagens como parte da estratégia para reduzir o desmatamento, a ser apresentada na próxima seção. Em consequência disto, o cálculo do potencial de mitigação das emissões diretas da pecuária só pode ser feito após ter quantificada esta estratégia de redução do desmatamento, em particular as necessidades de liberação anuais de pastagens. Por isso, ficou decidido apresentar a quantificação do potencial de mitigação das emissões diretas da pecuária no final da próxima seção, após terem sido determinadas as proporções da produção de carne alocadas para cada sistema produtivo no Cenário de Baixo Carbono.

3.5 Redução das emissões do desmatamento

No Cenário de Referência o desmatamento surge como a principal fonte de emissões. Embora significativos, os potenciais de remoção e mitigação descritos acima permanecem limitados, quando comparados ao grande volume de emissões de GEE resultantes do desmatamento. Como já foi mencionado, um dos principais fatores que desencadeiam o desmatamento é a necessidade de converter vegetação nativa em terras que possam acomodar a expansão da agricultura e da pecuária. A modelagem de uso da terra desenvolvida por este estudo possibilita a estimativa do volume de terra adicional necessário e o desmatamento associado a essa necessidade no Cenário de Referência. Para evitar as emissões geradas pelo desmatamento é preciso encontrar maneiras de reduzir a demanda global por terra, mantendo ao mesmo tempo o mesmo nível de oferta de produtos existente no Cenário de Referência. Em termos sistêmicos, a mitigação das emissões geradas pela mudança no uso da terra poderia ser alcançada absorvendo-se a expansão dessas atividades através de uma maior produtividade em outras.

As principais atividades agrícolas no Brasil já exibem altos níveis de produtividade, e consequentemente, não oferecem oportunidades de aumentar esse nível na escala necessária para poderem absorver esses níveis adicionais de demanda por terra. Por exemplo, a produtividade de uma plantação de soja no Brasil era de 2,86 toneladas por ha em 2008, comparadas às 2,81 toneladas por ha verificadas nos Estados Unidos (Tabela 34).

Tabela 34: Produtividade média de cultivos selecionados em vários países (ton por ha), 2008

País	Cultivo (toneladas por ha)			
	Soja	Milho	Algodão	Arroz
Argentina	2,78			
Bangladesh				3,93
China, República Popular da	1,61	5,17	1,30	6,43
UE-27		5,67		
Índia	1,06	2,3	0,57	3,31
Indonésia				4,66
México		3,22		
Paquistão			0,65	
Paraguai	2,62			
Tailândia				2,76
Estados Unidos	2,81	9,46	0,99	
Uzbequistão, República do			0,83	
Brasil	2,86	3,99	1,49	4,20

A criação de gado de corte revela um potencial muito maior para aumento da produtividade por hectare, que pode ser aplicado a uma área muito mais ampla de pastagem, considerando-se que os pastos ocupam 207 milhões de ha, comparados a 70 milhões de ha dedicados à agricultura em 2030 no Cenário de Referência. Consequentemente, o aumento do nível tecnológico e a intensificação da criação de animais pode desempenhar um papel essencial na redução da necessidade de terras para essa atividade, ao mesmo tempo liberando terras necessárias para a expansão de outras atividades.

Vimos no Capítulo 2, na parte relacionada ao cálculo das emissões da pecuária no Cenário de Referência (veja 2.1.4.1.1.2 Estimação das emissões pelos sistemas prototípicos), que existem sistemas produtivos de baixa produtividade, em particular os seguintes:

Ciclo completo em pastagens degradadas

Ciclo completo em pastagens extensivas

Mas também já existem no Brasil sistemas de produção de alta produtividade, só que ainda em escalas limitadas. Em particular, se trata dos sistemas seguintes:

Cria extensiva em pastagens + recria suplementada e engorda em Integração Lavoura-Pecuária

Cria extensiva em pastagens + recria suplementada e engorda em Confinamento

A modernização do setor da pecuária brasileira por expansão acelerada dos sistemas 3 e 4, em substituição aos sistemas de baixíssima produtividade 1 e 2 permitiria assegurar os mesmos níveis de produção de carne numa área de pastagem muito reduzida. Em razão da atual escala muito grande dos sistemas de baixa produtividade – em torno de 200 milhões de hectares – esta substituição abre a possibilidade de liberar volumes muito grandes de pastagens em comparação à expansão das outras atividades agrícolas, as quais já são de alta produtividade e somam apenas 52 milhões de hectares em 2008. Um aumento de 5% da área agrícola, ou seja 2,5 milhões de hectares, corresponde a apenas 1,25% da área de pastagens utilizada pelos sistemas pecuaristas de baixa produtividade. Assim, áreas de pastagens poderiam ser liberadas para acomodar a expansão das atividades agrícolas e, com isso, reduzir virtualmente para zero a necessidade de desmatar novas áreas.

A ferramenta BLUM / SIMBRASIL desenvolvida neste estudo para modelizar o uso do solo e as futuras mudanças deste uso permite quantificar esta substituição de sistemas pouco produtivos por sistemas mais produtivos, ano a ano, e simular a localização das pastagens que poderiam ser assim liberadas para acomodar o crescimento econômico dos setores agropecuários projetados no Cenário de Referência assim como novos usos da terra considerados no Cenário de Baixo Carbono.

Esta quantificação está detalhada no capítulo seguinte, com um cenário de uso do solo compatível com as propostas de mitigação e de remoção das emissões de gás de efeito estufa consideradas no Cenário de Baixo Carbono deste estudo.

4 *Cenário de Baixo Carbono para o Uso do Solo no Brasil*

Uma conclusão importante das investigações do estudo sobre a mitigação de emissões foi que a redução da fonte principal de emissões, o desmatamento, exige a liberação de terras suficientes de pastos existentes para acomodar todas as novas atividades, e assim evitar a conversão de vegetação nativa.

As seções anteriores apresentaram oportunidades para evitar as emissões de GEE e de remoção de carbono associadas ao uso da terra e às mudanças no uso da terra, em especial emissões resultantes da agricultura e da pecuária, além de remoção de carbono através de florestas de produção e restauro de florestas nativas. Entretanto, organizar um Cenário de Baixo Carbono não é exercício simples que envolva somar (no caso de evitar as emissões) ou subtrair (no caso da remoção de carbono) os volumes de GEE associados a essas oportunidades. Por exemplo, se por um lado, aumentar a área de terras alocadas ao restauro de florestas e às florestas de produção resulta em remoção de carbono e na redução das emissões das usinas de ferro, por outro, reduz a quantidade de terra que poderia estar disponível para a expansão da agricultura e da pecuária. Na sequência, o potencial de conversão de mais áreas com vegetação nativa para esta expansão da agricultura e da pecuária geraria um vazamento de carbono. Para evitar essa situação, é preciso encontrar maneiras não apenas de reduzir a quantidade adicional de terras necessárias de acordo com o Cenário de Referência, mas também de liberar terras para as atividades consideradas de mitigação e remoção, mantendo ao mesmo tempo o mesmo nível de produtos.

4.1 Necessidades adicionais de terra para atividades ligadas à remoção de carbono e exportação de biocombustível

No Cenário de Baixo Carbono, a quantidade de terras adicionais necessárias para a redução das emissões e para a remoção de carbono totaliza mais de 53 milhões de ha. Desse volume, mais de 44 milhões de ha – o dobro da expansão de terras projetada no Cenário de Referência – destina-se ao restauro de florestas, segundo a Lei de Reserva Legal (Brasil). O volume total de terra adicional necessária é maior do que 70 milhões de ha, mais de duas vezes a quantidade de terra plantada com soja (21,3 milhões de ha) e cana-de-açúcar (8,2 milhões de ha) em 2008, ou mais do que duas vezes a área de soja projetada para 2030 no Cenário de Referência (30,6 milhões de ha) (Tabela 35).

Tabela 35: Opções de mitigação e remoção para um Cenário de Baixo Carbono e necessidades associadas de terra adicional

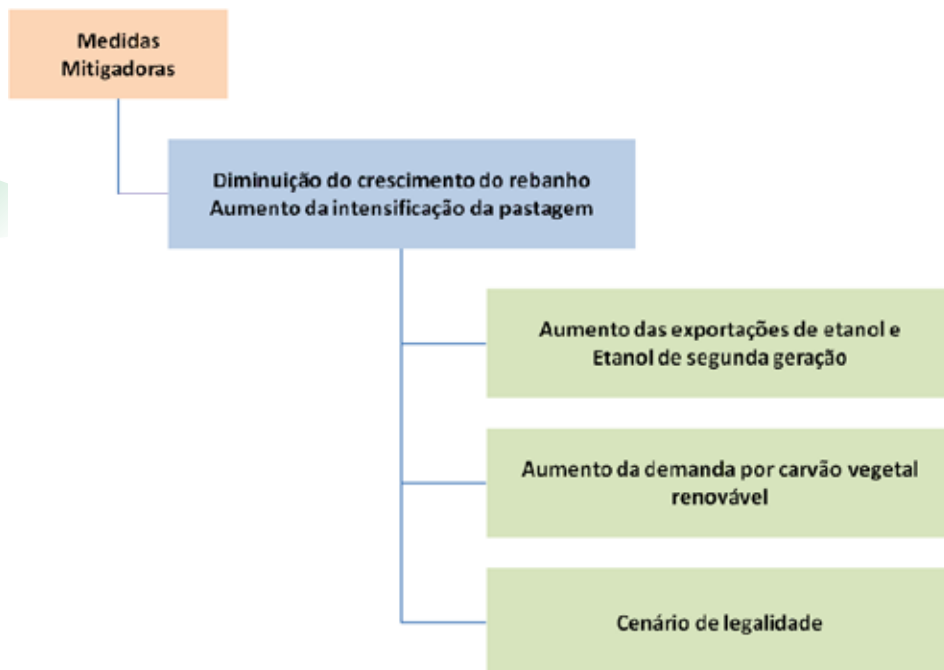
Cenário	Terra adicional necessária (2006–30)
Cenário de Referência: volumes adicionais de terras necessárias para a expansão da agricultura e da pecuária	<i>Expansão da produção da agricultura e da pecuária para atender às necessidades previstas para 2030: - 16,8 milhões de ha</i>
Cenário de Baixo Carbono: volumes adicionais de terras necessárias para medidas de mitigação	Eliminação do carvão não-renovável em 2017 e participação de 46% de carvão renovável para a produção de ferro e aço em 2030: <i>- 2,7 milhões de ha</i>
	Expansão da cana-de-açúcar, para aumentar a substituição da gasolina com etanol em até 80% no mercado interno e fornecer 10% da demanda global estimada, para chegar a uma mistura global média na gasolina de 20% de etanol até 2030. <i>- 6,4 milhões de ha</i>
	Restauração do passivo ambiental das florestas legais, calculadas em 36,2 milhões de ha em 2030. <i>- 44,3 milhões de ha</i>
Total	<i>70,4 milhões de hectares adicionais</i>

Uma consequência possível é que a expansão do uso da terra para atividades que promovam níveis inferiores de emissões, substituição de combustíveis fósseis (da forma detalhada no Capítulo 4) ou até mesmo a captura do carbono poderão provocar um excesso na demanda pelo uso da terra que, por sua vez, poderia gerar desmatamento, induzindo um balanço líquido mais baixo de remoção de carbono.

4.2 Em direção a um novo padrão de produtividade para a pecuária

O estudo simulou a nova distribuição de sistemas produtivos para a pecuária, que deveriam ser promovidos para liberar terras de pastagem suficientes para acomodar toda a demanda por terra adicional derivada da expansão do cultivo no Cenário de Referência e para a implementação de novas opções de redução e remoção propostas de acordo com o Cenário de Baixo Carbono.

Figura 33: Medidas mitigadoras para construção do Cenário de Baixo Carbono.



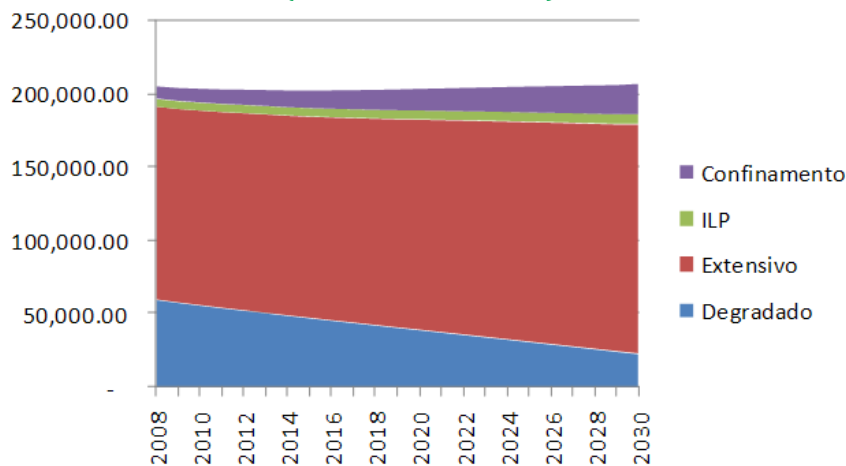
Fonte: ICONE (2009)

Para aumentar a produtividade da pecuária por hectare – absorvendo assim a expansão da agricultura e outras atividades de baixo carbono sem causar desmatamento e ao mesmo tempo reduzindo as emissões por unidade de carne – foram consideradas cinco opções: (i) promoção da recuperação de pastagem degradada; (ii) estímulo à adoção de sistemas produtivos que empreguem confinamento na engorda; (iii) estímulo à adoção de sistemas lavoura-pecuária; (iv) desenvolvimento de programas de melhoramento genético para forragem adaptada ao Brasil, de qualidade superior e geradora de menos emissões e (v) desenvolvimento de programas de incentivo para o uso de touros geneticamente superiores.

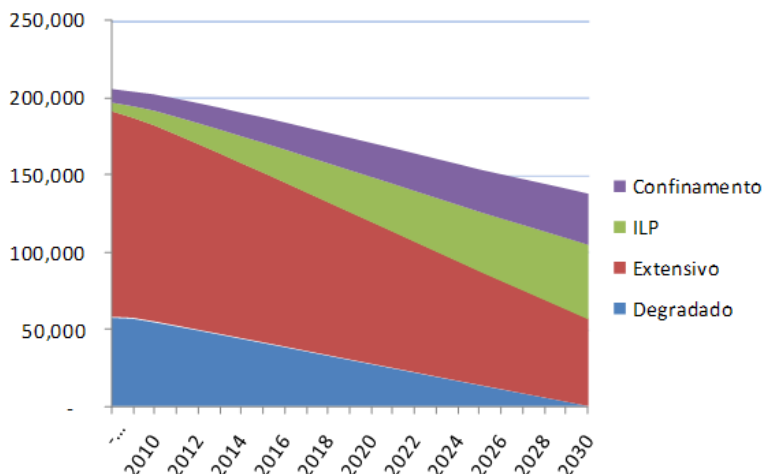
O efeito projetado dos sistemas produtivos considerados para os Cenários de Referência e de Baixo Carbono são comparados a seguir (Figura 34).

Para o Cenário de Baixo Carbono projeta-se uma variação da área de pastagens de 205,38 milhões de hectares para 137,82 milhões de hectares. Estima-se ainda uma variação do rebanho de 201,41 (IBGE, 2009) para 214,27 milhões de cabeças. Essas variações levaram à estimativa de proporção dos sistemas produtivos para 2008 e 2030 apresentadas na Figura 34.

Figura 34: Variação da área de pastagens ocupada por tipo de sistema produtivo (milhares de hectares)



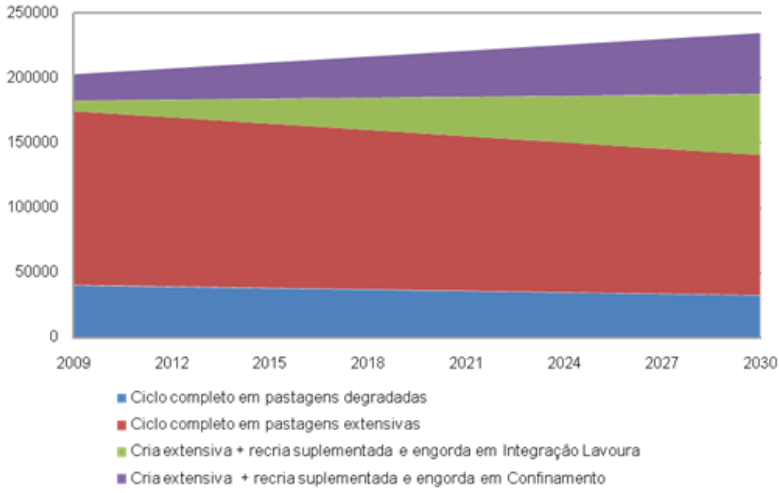
Cenário de Referência



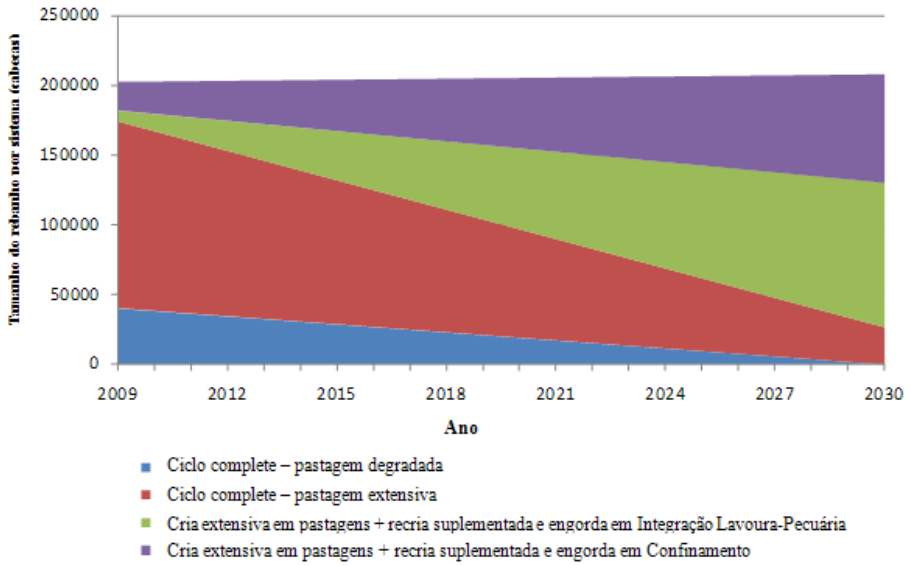
Cenário de Baixo Carbono

A nova distribuição da produção pecuária por sistemas de produção pode ser também visualizada na Figura 35 por número de cabeças de gado nos diferentes sistemas nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono.

Figura 35: Variação do número de cabeças de gado em sistemas produtivos, 2009–30



Cenário de Referência



Cenário de Baixo Carbono

4.3 Potencial de mitigação das emissões diretas da pecuária no Cenário de Baixo Carbono

A variação na composição dos sistemas gerou ganhos expressivos de produtividade da terra. As projeções indicam um aumento de produtividade de 47,22 kg e-carcaça/ha em 2008 para 63,51 e 95,42 kg e-carcaça/ha em 2030, respectivamente para os Cenários de Referência e Baixo Carbono, permitindo redução de 69,239 milhões de ha na área de pastagem. (Figuras 36 e 37)

Figura 36: Projeção da produtividade do rebanho bovino brasileiro entre 2009 e 2030 para os Cenários de Referência e de Baixo Carbono

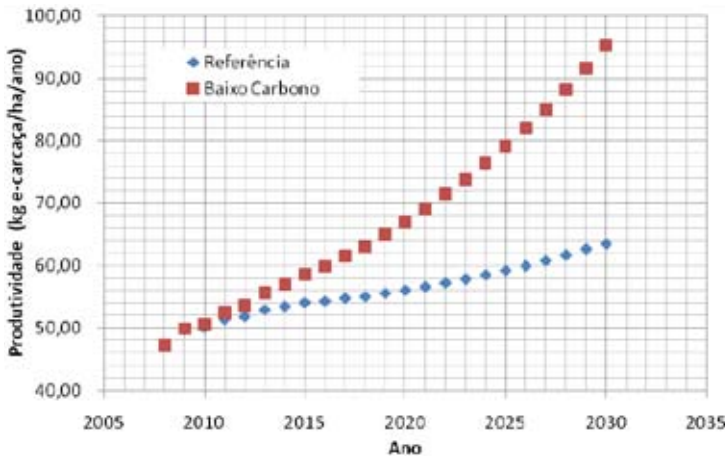
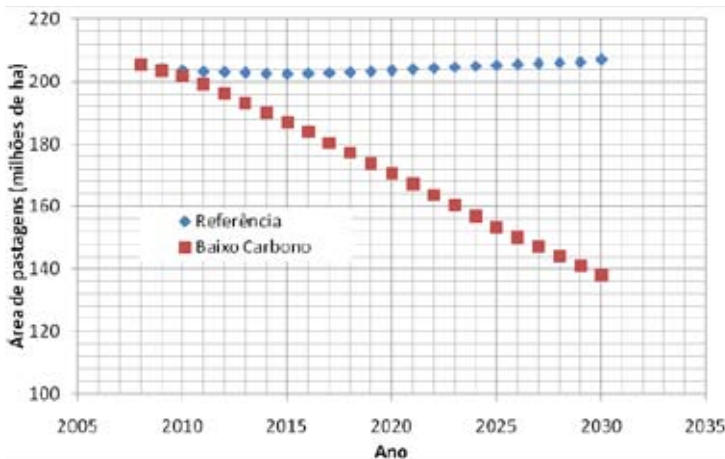


Figura 37: Projeção da área de pastagens no Brasil nos anos 2009 a 2030 (Cenário de Baixo Carbono)



Em decorrência do crescimento expressivo da produção de carne projetado para o período, há um aumento das emissões diretas pelo setor. Entretanto há expressiva redução das emissões diretas no Cenário de Baixo Carbono devido às opções de mitigação consideradas que induzem a uma menor emissão por unidade de produto no Cenário de Baixo Carbono.

Considerando-se somente a transição de um sistema de produtividade mais baixa para outro, de mais alta produtividade, seria pouco o efeito sobre as emissões de GEE por animal (1,25 tCO₂e no cenário de pastagem degradada, em comparação com 1.15 tCO₂e em outros cenários); por outro lado, a produtividade mais alta em sistemas mais intensivos gera uma redução significativa no rebanho projetado para 2030 (208 milhões de cabeças no Cenário de Baixo Carbono, *versus* 234,4 milhões no Cenário de Referência), o que, por sua vez, geraria uma redução significativa por unidade de carne (Figura 39) e no valor total (Figura 38).

Figura 38: Comparação das emissões de metano geradas pela criação de gado de corte (MtCO₂e por ano), 2008–30

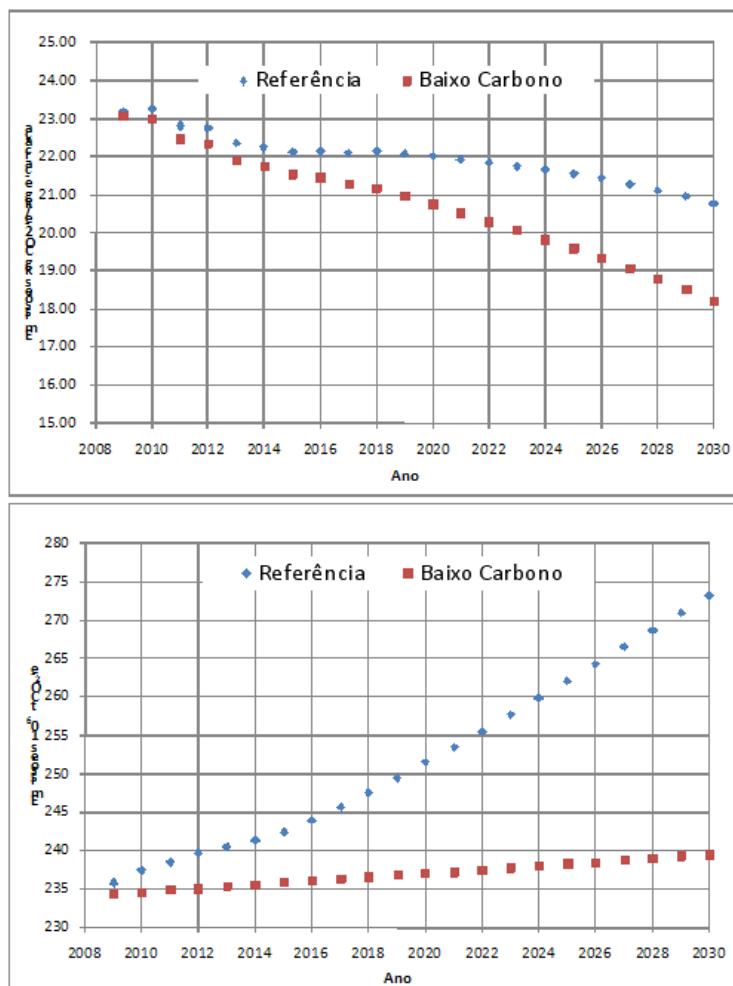
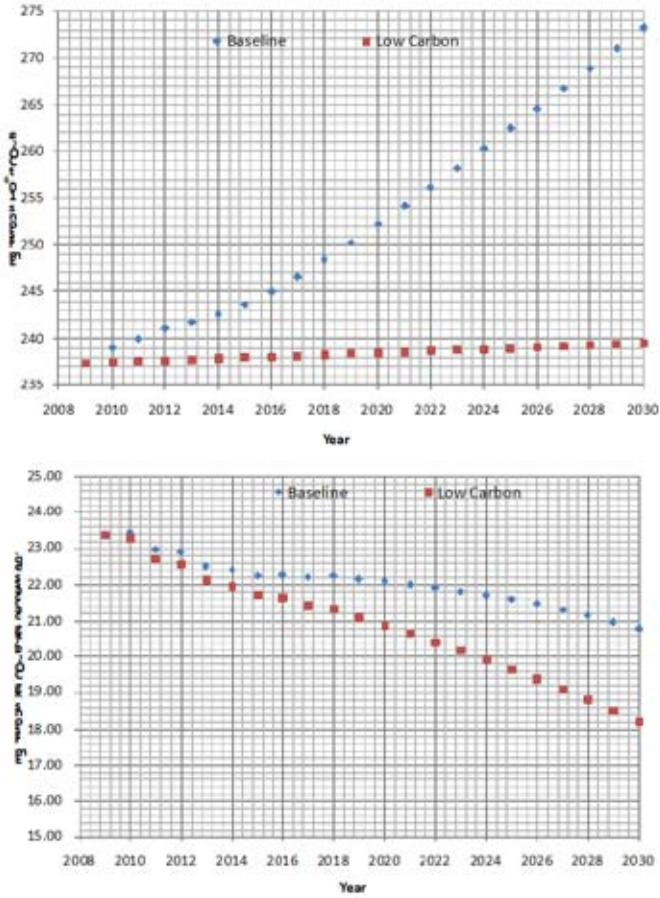


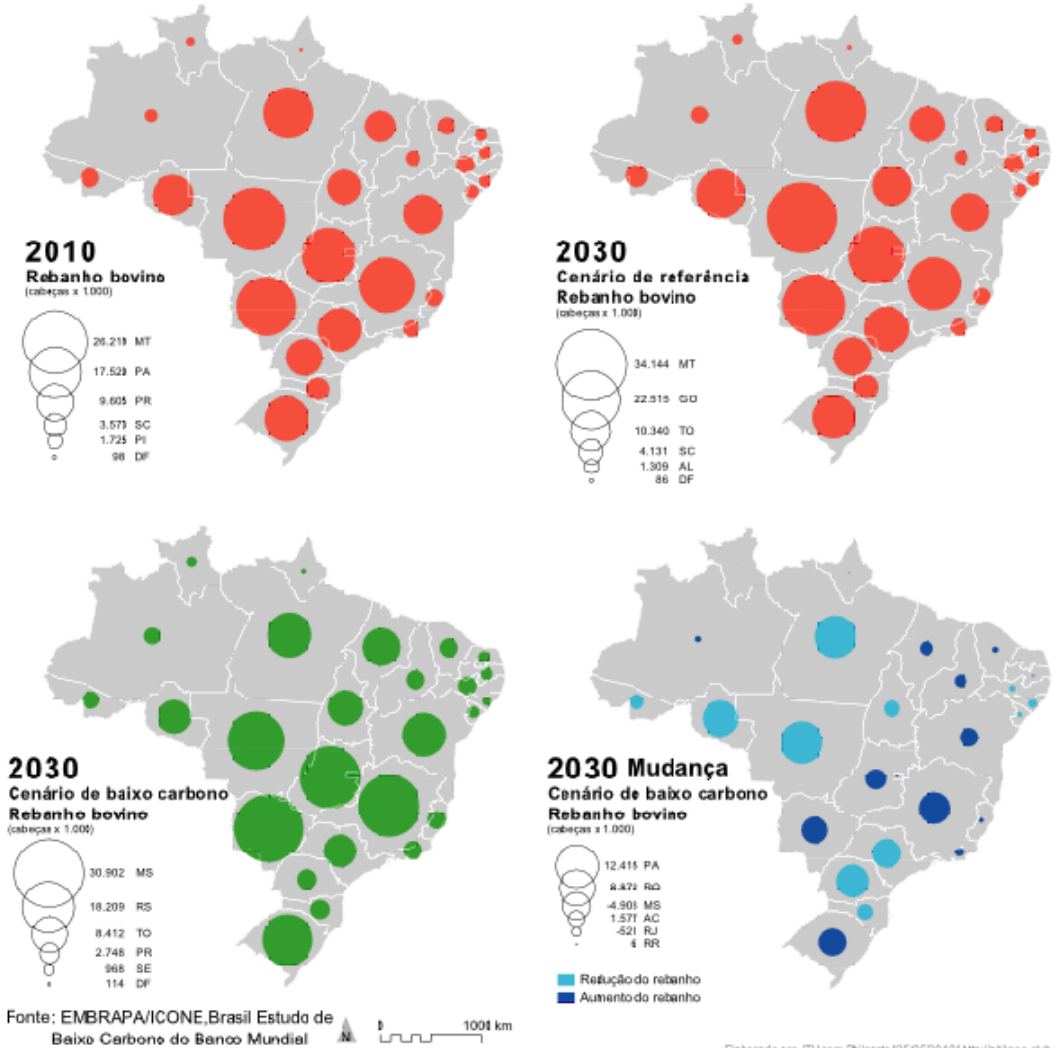
Figura 39: Comparação das emissões de metano por unidade de carne (kg CO₂e por kg), 2008–30

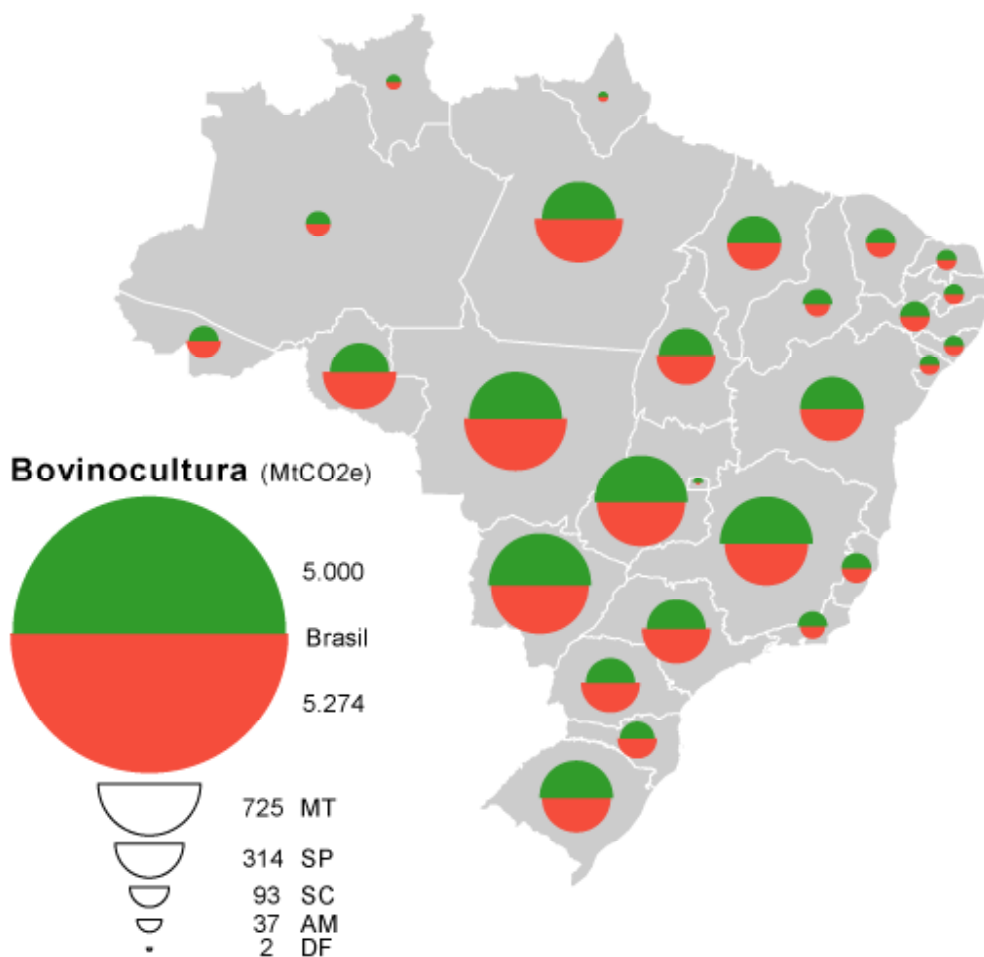


A combinação da forragem melhorada e dos touros geneticamente superiores, juntamente com o aumento proposto de produtividade da pecuária, reduziria as emissões diretas oriundas da pecuária de 273 para 240 MtCO₂ por ano em 2030, ou seja, manter-se-iam as emissões aproximadamente ao mesmo nível de 2008.

BOVINOCULTURA

Mapa 25: Número de Cabeças no Rebanho





4.4 Um novo cenário de uso do solo para o Cenário de Baixo Carbono

De posse dos dados fornecidos pelo BLUM de demanda por terra para o Cenário de Baixo Carbono, o modelo de simulação de mudanças do uso do solo foi rodado novamente. Além dos dados de entrada, uma diferença entre o Cenário de Referência e de Baixo Carbono é que para este último, quando há passivo ambiental na microrregião, a taxa de desmatamento é zerada, e a recuperação ambiental através do restauro florestal é implementada. É importante ressaltar que em ambos os cenários, o modelo de projeção do desmatamento na Amazônia Legal está acionado, simulando, portanto, desmatamento adicional devido a causas indiretas.

Com os novos dados fornecidos pelo grupo de modelagem econômica referentes à demanda por terra no Cenário de Baixo Carbono – cujo desenvolvimento baseou-

se numa ampla variedade de melhorias nos índices zootécnicos da pecuária e, conseqüentemente, na redução de áreas dedicadas à pastagem, maior área dedicada à produção de cana-de-açúcar, restauração do passivo ambiental com respeito às reservas legais e APPs e maior participação do carvão vegetal renovável nas usinas de ferro – o modelo de simulação para mudanças no uso da terra adotado no Cenário de Referência foi rodado novamente.

As taxas mais altas de lotação associadas à maior produtividade do rebanho, como efeito combinado da recuperação de áreas degradadas e da adoção de sistemas mais intensivos de lotação e engorda (integração de sistemas de lavoura-pecuária e confinamento), refletem-se na acentuada redução da demanda por pastagens, projetada para ser de 137,82 milhões de hectares no Cenário de Baixo Carbono, comparados a 207,06 milhões de ha no Cenário de Referência para o ano 2030 (Tabela 36). A diferença seria suficiente para absorver a demanda por terra adicional associada tanto à expansão da agricultura e da pecuária no Cenário de Referência, quanto à expansão das atividades de mitigação e remoção no Cenário de Baixo Carbono (Figura 40).

Tabela 36: Comparação dos resultados de uso da terra nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono (milhões de ha)

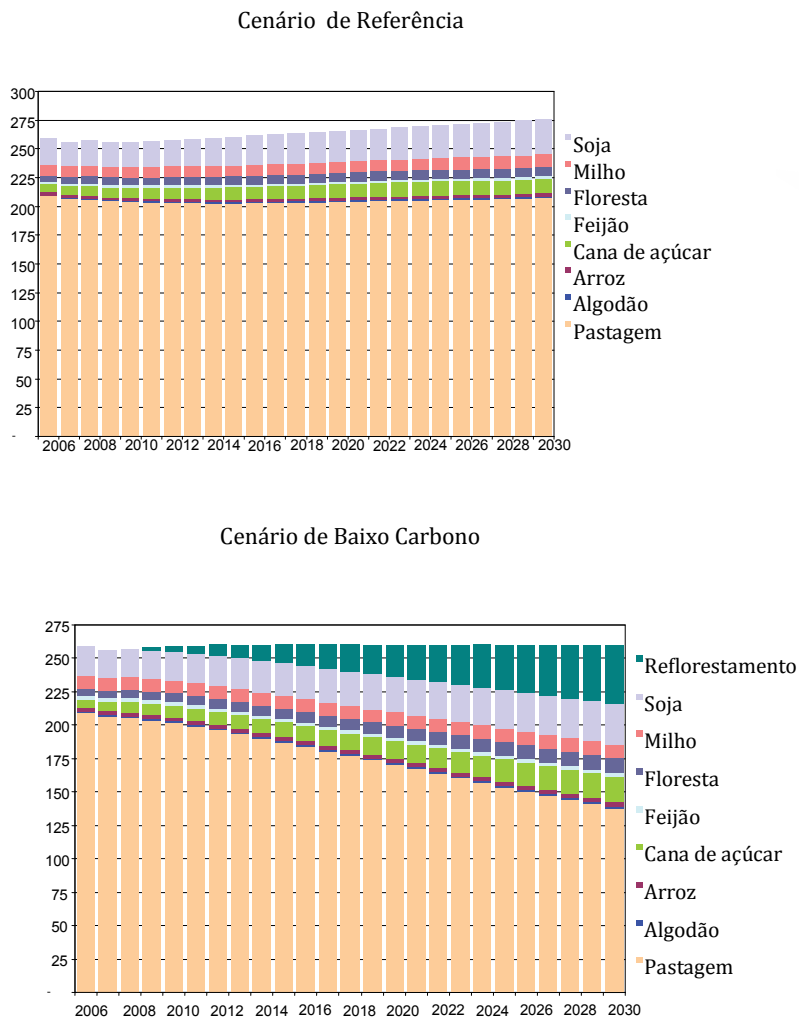
Uso da Terra	2006	2008	Cenário de Referência		Cenário de Baixo Carbono		Diferença em 2030–baixo carbono / referência
			Var. 2030-2006	Var. 2030-2006	Var. 2030-2006	Var. 2030-2006	
Grãos (colheita)	38,94	37,79	47,92	8,98	47,86	8,92	(57)
Cana-de-açúcar	6,18	8,24	12,70	6,52	19,19	13,01	6,49
Floresta de Produção	5,27	5,87	8,45	3,18	11,17	5,90	2,72
Pastagem	208,89	205,38	207,06	(1,83)	137,82	(71,07)	(69,24)
Área total para agricultura e pecuária ¹	259,27	257,28	276,13	16,85	216,04	(43,23)	(60,08)
Restauração	-	-	-	-	44,34	44,34	44,34
Balanço						1,11 ²	(15,74)
Rebanho (por 1.000 cabeças)	205,90	201,10	234,46	28,570	208,000	2,120	(26,46)

¹ Área total alocada a algodão, feijão (1ª colheita), milho (1ª colheita), soja, cana-de-açúcar, floresta de produção e pastagem.

² Representa a expansão da área agrícola entre 2006 e 2008 nas regiões Norte e Nordeste.

Fonte: ICONE

Figura 40: Evolução da demanda por terra por cultivo



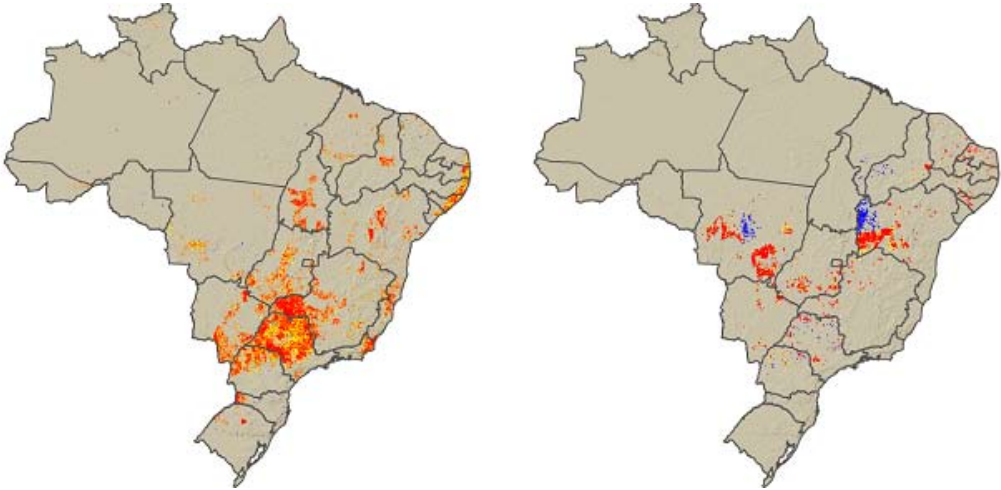
Fonte: Adaptação de ICONE (2009)

O primeiro mapa (Mapa 27) mostra que as áreas plantadas com cana-de-açúcar sofrem grandes alterações em relação ao Cenário de Referência para uso do solo, devido ao grande aumento da demanda por terra para a cana-de-açúcar, visando a expansão da produção de etanol. No entanto, os padrões geográficos de distribuição se mantêm, ocorrendo uma intensificação e, em áreas tradicionais, mais um avanço em direção ao Centro-Oeste e interior da Bahia.

O Mapa 27 mostra também a dinâmica das culturas de algodão sob o Cenário de Baixo Carbono. Da mesma forma que para as representações do Cenário de Referência a cor amarela representa as áreas em que o cultivo de algodão ocorreu em 2007 e em

2030, permanecendo constante. Já as áreas em azul são aquelas em que houve uma retração no cultivo do produto; e as áreas em vermelho representam aquelas em que houve expansão do cultivo de algodão, ao longo do período modelado. Percebe-se que não houve alterações significativas com relação ao Cenário de Referência para o algodão, já que a demanda por este produto não se modificou muito entre os dois cenários.

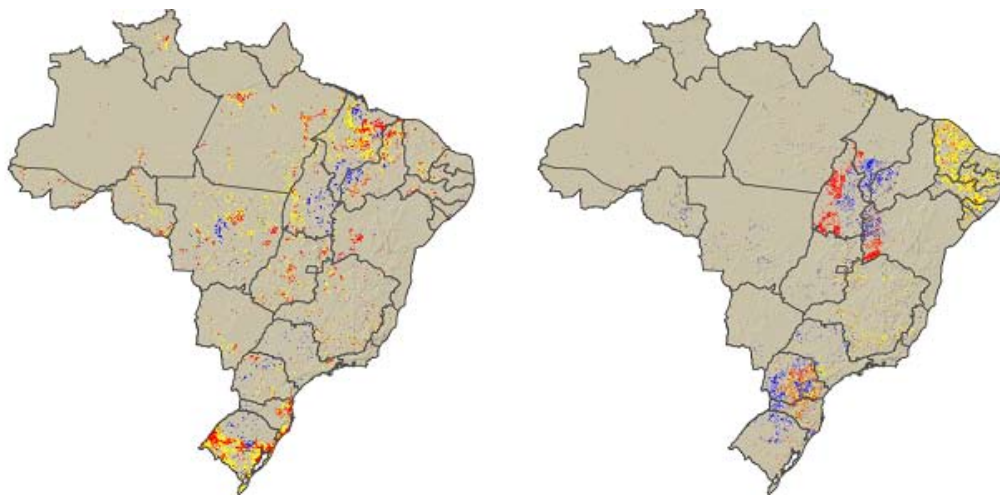
Mapa 27: Dinâmica da cultura de cana-de-açúcar (esquerda) e do algodão (direita) sob o Cenário de Baixo Carbono (2010 - 2030). Amarelo = permaneceu constante; azul = retração; vermelho = expansão



O Mapa 28 apresenta os resultados para o arroz. Não ocorreram mudanças importantes em relação ao Cenário de Referência. Os padrões de distribuição geográfica, de expansão e de recuo da cultura permanecem praticamente iguais.

A dinâmica das culturas de feijão sob Cenário de Baixo Carbono também são mostradas no mapa 28. Não é possível perceber alterações significativas em relação ao Cenário de Referência uma vez que praticamente não houve mudanças em termos de demanda por terra para esse produto.

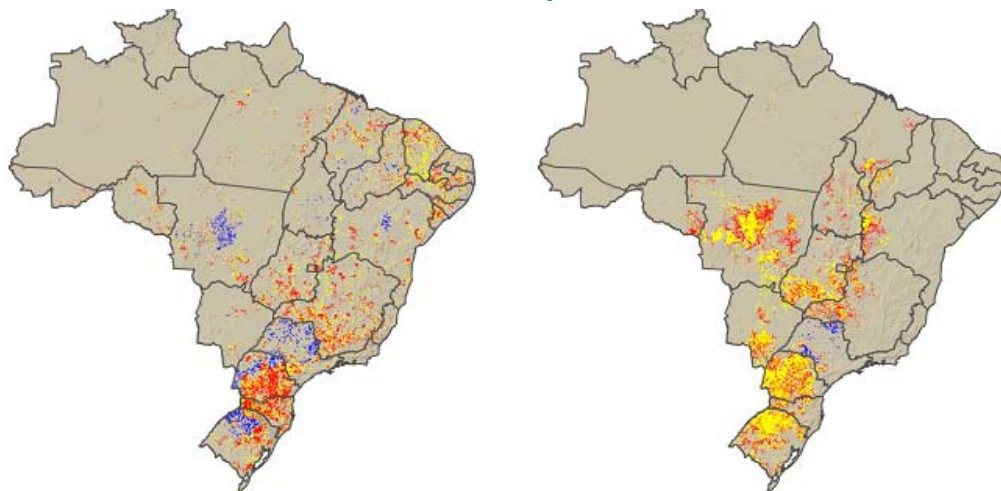
Mapa 28: Dinâmica da cultura de arroz (esquerda) e do feijão (direita) sob o Cenário de Baixo Carbono (2010 – 2030). Amarelo = permaneceu constante; azul = retração; vermelho = expansão



O Mapa 29 apresenta os resultados para o milho. Há uma alteração significativa na ocorrência desse produto em comparação ao Cenário de Referência. É possível perceber mais manchas de retração das culturas na porção oeste dos estados Rio Grande do Sul, Santa Catarina, São Paulo e noroeste do Paraná. Em contrapartida, ocorre também uma expansão em outras regiões desses mesmos estados. Em Minas Gerais também é possível perceber expansão do milho.

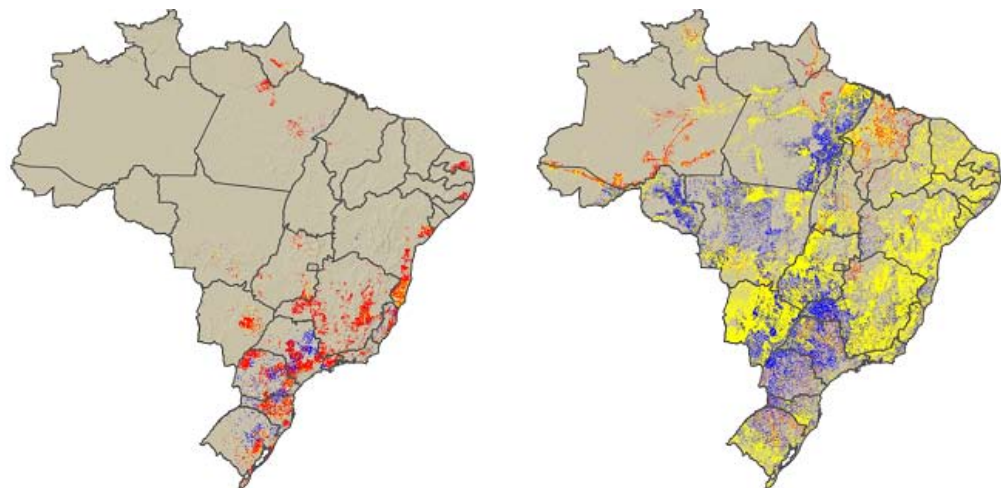
Em relação à soja, é possível perceber poucas alterações (Mapa 29). Assim como no Cenário de Referência ocorrem manchas de expansão próximas às ocorrências originais. Seu padrão de distribuição geográfica também não se alterou, ocorrendo ainda sobre os estados do sul, centro-oeste, triângulo e oeste mineiro, oeste da Bahia, Piauí e Maranhão. Além disso, há retração das culturas da soja no estado de São Paulo, o que ocorre menos intensamente no Cenário de Referência podendo ser justificado pela competição da cana-de-açúcar.

Mapa 29: Dinâmica da cultura do milho (esquerda) e da soja (direita) sob o Cenário de Baixo Carbono (2010 – 2030). Amarelo = permaneceu constante; azul = retração; vermelho = expansão



O Mapa 30 apresenta a dinâmica da silvicultura. Em função do aumento da demanda por áreas de florestas de produção para neutralizar o desmatamento por carvoejamento, há grandes diferenças entre o Cenário de Referência e o Cenário de Baixo Carbono. Enquanto no Cenário de Referência praticamente não ocorriam manchas de expansão, sob o Cenário de Baixo Carbono essas são bastante expressivas, sobretudo na vizinhança de regiões com plantações prévias.

Mapa 30: Dinâmica das florestas de produção (esquerda) e das pastagens (direita) sob o Cenário de Baixo Carbono (2010 – 2030). Amarelo = permaneceu constante; azul = retração; vermelho = expansão

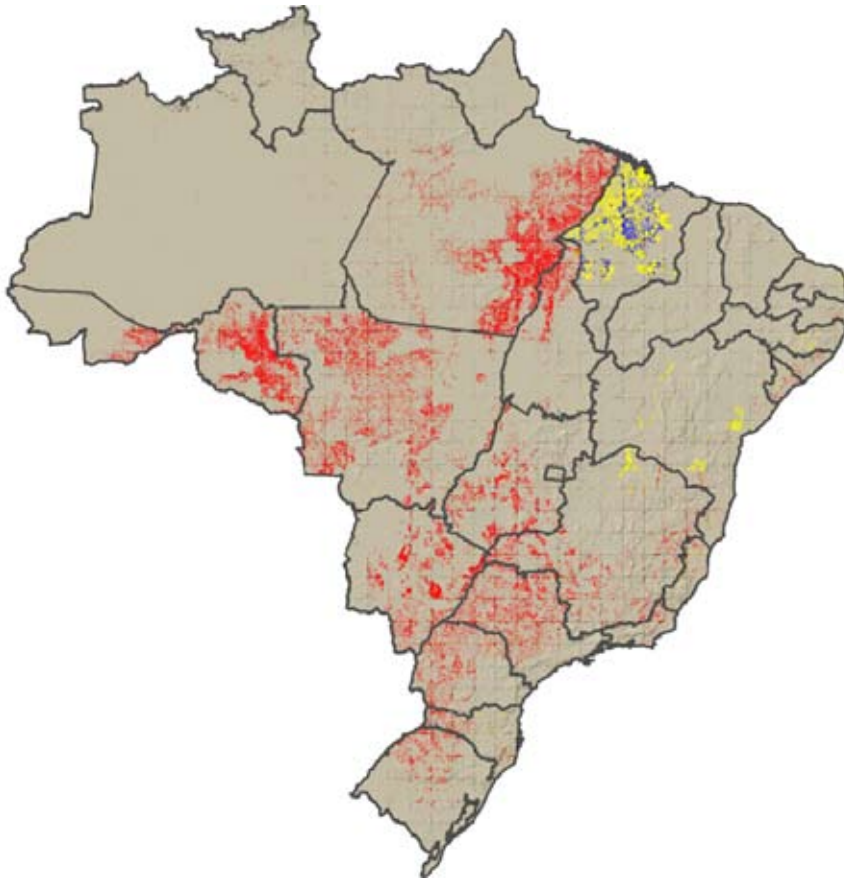


O Mapa 30 apresenta também a dinâmica das pastagens. Percebe-se uma intensa alteração em relação ao Cenário de Referência. Como o Cenário de Baixo Carbono

inclui uma intensificação no uso da terra, a pastagem passa a ser a grande doadora de terras para outras culturas, especialmente no centro-sul do país e nordeste. Exceto por algumas manchas esparsas de expansão no nordeste Mineiro, Rio Grande do Sul, Paraná e Santa Catarina, predominam nessa vasta porção do país a retração das áreas de pastagem.

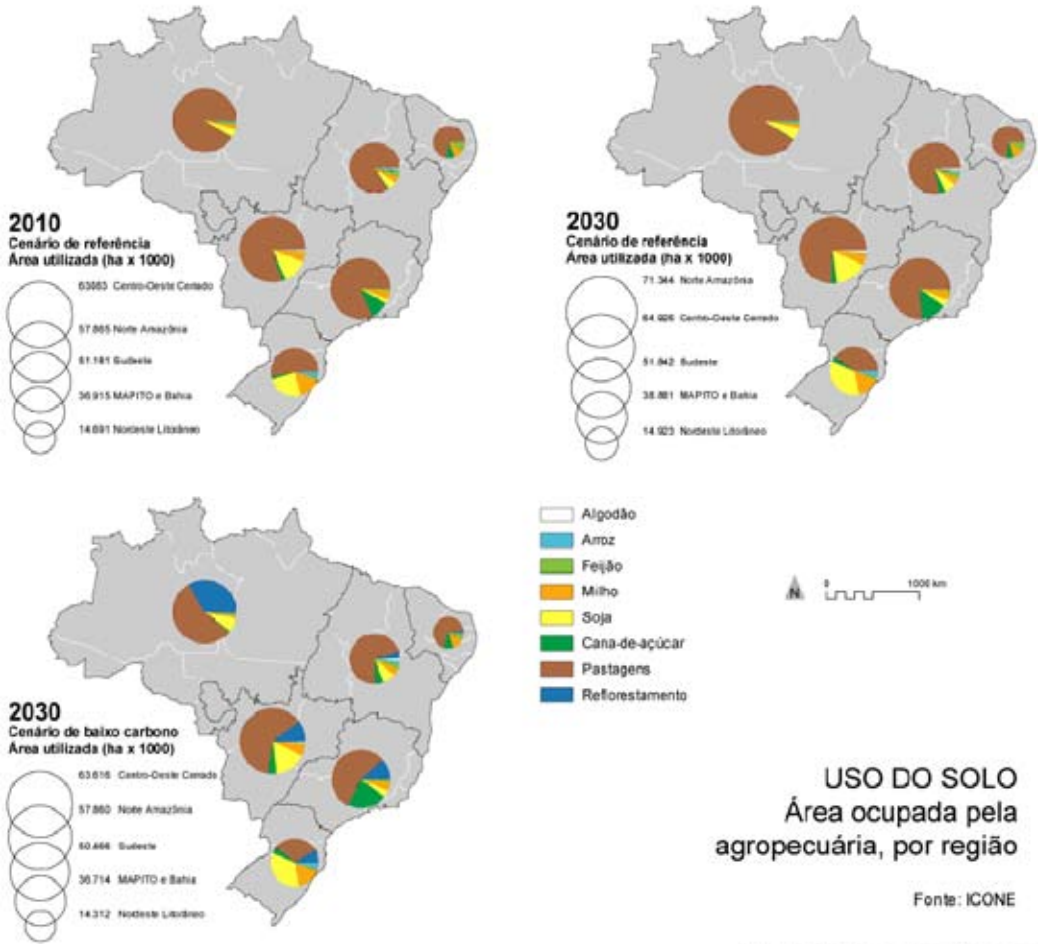
Para o Cenário de Baixo Carbono foi elaborado também um mapa de regeneração florestal (Mapa 31). Em função dos pressupostos tomados para esse cenário de recuperação do passivo ambiental segundo o Código Florestal atual, se estimula a recuperação da vegetação nativa nas microrregiões onde há passivo ambiental no início da simulação. Essa regeneração ocorre até o limite exigido por lei para a reserva legal (as APPs não foram consideradas na regeneração em função das limitações da resolução espacial adotada para o estudo). Já a permanência das áreas de capoeira entre 2010 e 2030 ocorre nos estados do Maranhão, principalmente, e em Minas Gerais e Bahia em menor quantidade. Apenas o Maranhão apresenta áreas de decréscimo de capoeira. No caso deste estado, a base utilizada na elaboração do mapa de uso do solo apontou uma ocorrência intensa de áreas de capoeira, sendo que para esta cobertura se aplica a mesma regra: o desmatamento só cessa quando a barreira da legalidade é atingida.

Mapa 31: Regeneração florestal no Cenário de Baixo Carbono



O Mapa 32, abaixo, sintetiza a evolução da área ocupada pelas atividades agropecuárias nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono.

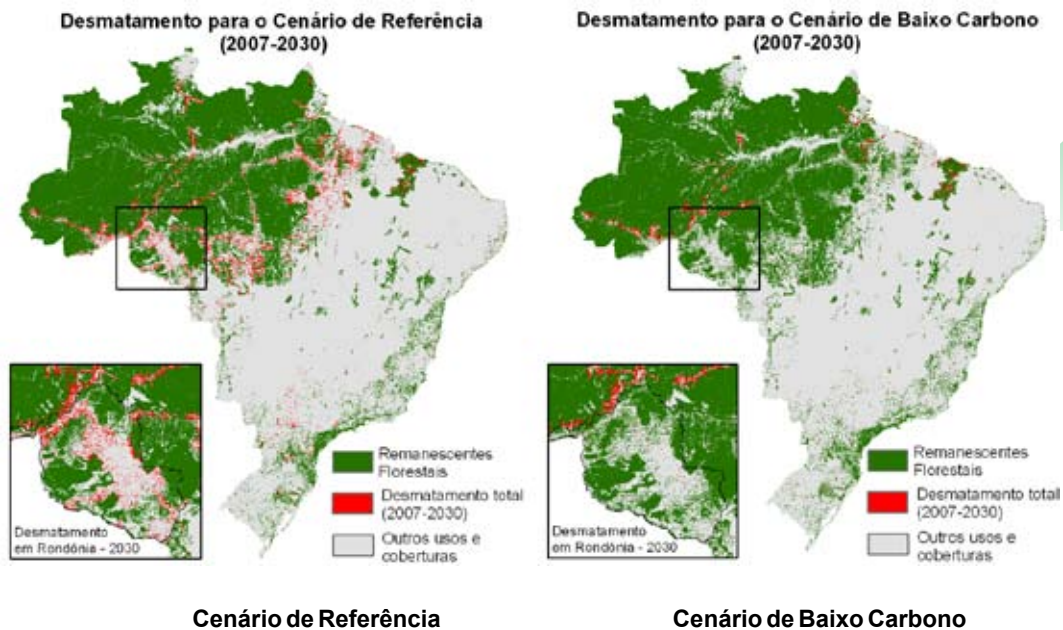
Mapa 32: Área ocupada pela agropecuária por região



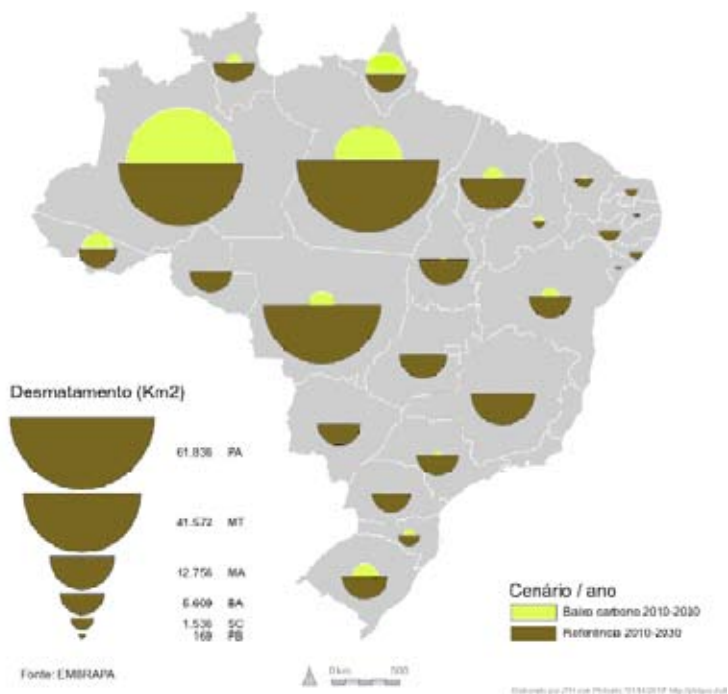
4.5 Redução do desmatamento no Cenário de Baixo Carbono

A redução na demanda por terra, calculada com base em suposições geradas pelo Cenário de Baixo Carbono, levaria a uma redução das taxas de desmatamento, em comparação com o Cenário de Referência. Foram produzidos novos mapas de uso do solo e de desmatamento com o mesmo modelo espacial de emissões geradas pelo uso da terra desenvolvido com a plataforma Dinamica EGO (Mapa 33). O modelo do Cenário de Baixo Carbono funciona como um cenário da legalidade, ou seja, quando há passivos ambientais, as taxas de desmatamento são estabelecidas em zero e é iniciada uma simulação de processo de regeneração para a microrregião em questão.

Mapa 33: Comparação do desmatamento cumulativo, 2007–30



Mapa 34: Total de área desmatada, 2010 a 2030

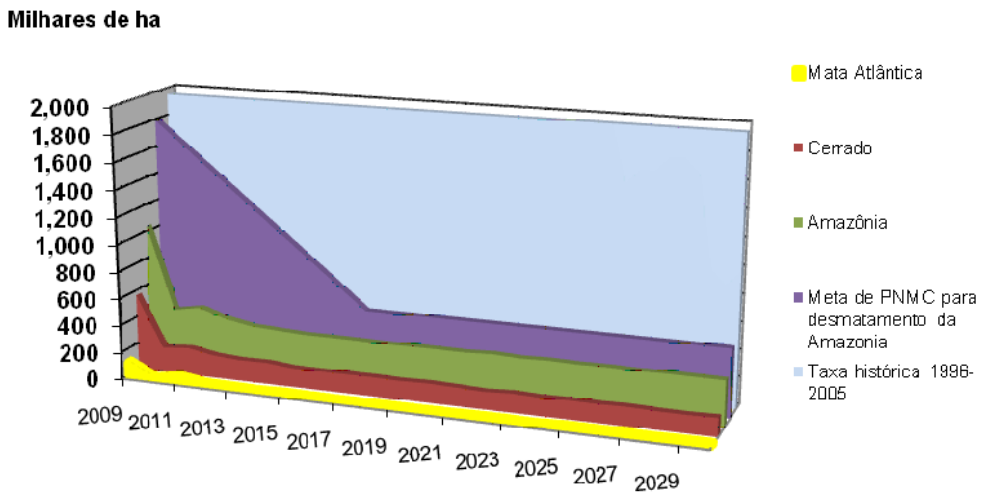


As projeções baseadas em modelos indicam que, de acordo com a nova dinâmica de uso da terra, o desmatamento seria reduzido em mais de dois terços (68%) em comparação com o Cenário de Referência. Na Mata Atlântica, o desmatamento seria reduzido em cerca de 90%, enquanto na região amazônica e no Cerrado verificar-se-iam reduções de 70 e 65%, respectivamente. Na região amazônica, o nível de desmatamento cairia a aproximadamente 17% da média histórica anual de 19.500 km² ⁵⁰ (Mapa 34).

De acordo com as expectativas, com a demanda por terras de pastagem reduzida a zero, da forma projetada pelo módulo do ICONE, as taxas de desmatamento seriam também levadas a zero; entretanto, não é isso o que ocorreu. O desmatamento prossegue ainda em determinadas partes dos estados amazônicos do Acre e do Pará, devido à incorporação do modelo de causas indiretas, através de regressão espacial *lag* (como no Cenário de Referência). Assim, nas microrregiões onde não tenha sido alcançado o limite legal de desmatamento em 2009 – onde ainda houver espaço para desmatamento legal e onde a dinâmica modelada indireta for o fator determinante – continuará a ocorrer desmatamento.

Ainda, muito embora o desmatamento residual não seja exatamente igual a zero, o seu valor residual é compatível com a meta de redução de desmatamento na Amazônia de 70%, estabelecida para 2017 pelo PNMC, que tem como base a média histórica de 19.500 km² por ano. Assim sendo, os valores anuais médios de 4.000 km² gerados pelo modelo estão abaixo do limiar de 5.000 km² por ano estabelecido como meta final para o Brasil (Figura 41). A Figura 42 apresenta os resultados detalhados por biomas. O Mapa 35 compara as emissões do desmatamento por estados nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono.

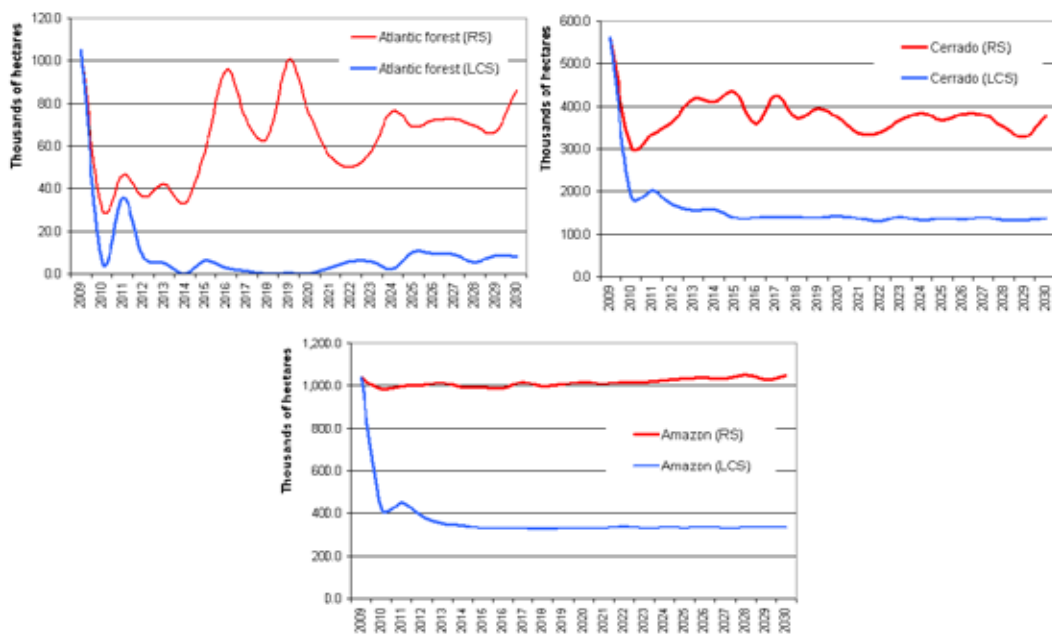
Figura 41: Evolução do desmatamento no Cenário de Baixo Carbono (curva) (km² por ano)



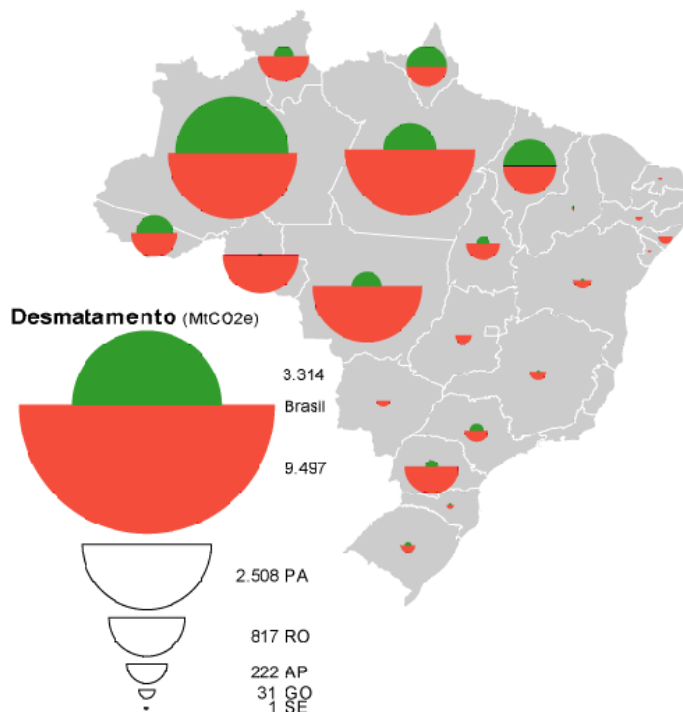
Fonte: UFMG (2009).

⁵⁰ Durante o período de 1996 a 2005, a taxa histórica de desmatamento na região amazônica era de 1,95 milhão de hectares por ano, de acordo com o PNMC.

Figura 42: Evolução do desmatamento no Cenário de Referência (RS) e de Baixo Carbono (LCS) (milhares de hectares por ano)



Mapa 35: Total cumulativo de emissões do desmatamento, 2010 a 2030



4.6 Medidas adicionais para proteger a floresta contra o desmatamento

Embora o Cenário de Baixo Carbono para uso de terra ofereça soluções para levar, virtualmente, a zero a necessidade por terra adicional, espera-se que sejam necessárias medidas complementares de proteção florestal, por dois grandes motivos. Em primeiro lugar, o limite legal para desmatamento (até 20% das propriedades localizadas na região Amazônica) ainda não foi alcançado. Assim, nos lugares onde a dinâmica complexa de desmatamento for motivada pelo valor financeiro da madeira ou da terra limpa (junto com a necessidade de terra para cultivo, pasto, e plantações de produção), o desmatamento continuaria. Em segundo lugar, pode haver uma demora significativa entre o tempo de redução de demanda por terras para cultivo, pasto ou florestas de produção e o tempo em que será possível observar efetivamente uma mudança comportamental entre os agentes de desmatamento na fronteira (ou seja, eles podem continuar a especular sobre a demanda que já secou rio acima na cadeia de mercado de terra).

Isto reflete que, como já mencionado no Capítulo 2, há outros fatores indiretos além da necessidade líquida de terras adicionais para expansão do setor agropecuário, que também participam dos processos de desmatamento. Portanto, a modelagem inclui causas indiretas, não capturadas pelas variáveis de disponibilidade de terra. Esses resultados endossam a necessidade da adoção de medidas adicionais para a contenção do desmatamento.

Assim, o Cenário de Baixo Carbono propõe implementar medidas adicionais de proteção florestal em áreas de mata onde o desmatamento for ilegal. Considerando os vários programas em andamento e a ampla literatura disponível sobre esse tópico, incluindo o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAM), este estudo limitou-se a analisar as propostas existentes.

São destacadas a seguir, portanto, as principais medidas, políticas, programas e ações em vigência, que objetivam direta ou indiretamente a redução do desmatamento e, em consequência, de suas emissões associadas.

A. Expansão e consolidação das áreas protegidas

Programa ARPA – Continuidade e expansão: Desde 2003, o governo brasileiro iniciou a implementação⁵¹ do Programa de Áreas Protegidas da Amazônia – ARPA. No âmbito deste programa, já foram criados até hoje mais de 30 milhões de hectares⁵² de Unidades de Conservação, sob a forma de Áreas de Proteção Integral e Áreas Protegidas de Uso Sustentável, através de uma iniciativa sustentada por parceiros nacionais (MMA, ICMBio) e internacionais (WWF, Banco Mundial, entre outros) através do Fundo de Áreas Protegidas. O programa foi idealizado para ser desenvolvido em três etapas (2003-2008; 2009-2013 e 2014-2016) e criar cerca de 50 milhões de hectares de áreas protegidas (Tabela 37).

51 DF nº 4.326.

52 Disponível em <<http://www.mma.gov.br/sitio/index.php?ido=conteudo.monta&idEstrutura=154>>. Último acesso em 10/05/2009.

Tabela 37: Panorama das Áreas Protegidas no bioma amazônico e participação do ARPA

Áreas Protegidas ou militares		Nº	Área (km ²)	Proporção do Bioma (%)	Porcentagem de áreas protegidas apoiadas pelo ARPA
Área militar		6	26.235	0,6	-
Terra indígena		282	987.219	23,4	-
Proteção integral	Estadual	44	137.385	3,3	22,5
	Federal	37	231.072	5,5	80,6
Uso sustentável	Estadual	72	201.918	4,8	13,2
	Federal	80	233.523	5,5	26,2
Total		521	1.817.355	43,0	16,8

Fonte: Extraído de Soares-Filho et al., (2008b).

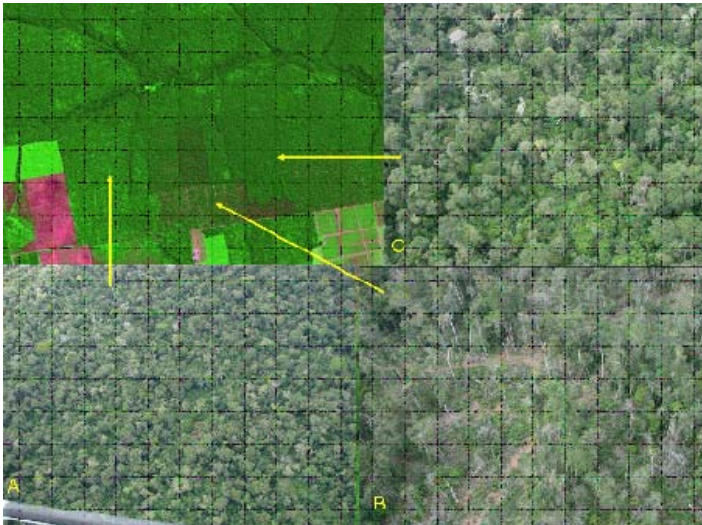
Soares-Filho et al., (2008b) confirmaram a importância das áreas protegidas e do programa ARPA na redução do desmatamento. As taxas históricas de desmatamento na Amazônia acusam uma redução de seus valores a partir de 2004-2005, que poderia ser atribuída, entre outros fatores, a um conjunto de medidas que compõem o Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia - que inclui a criação e consolidação de unidades de conservação. De acordo com estes autores, a probabilidade de ocorrer desmatamento nas zonas de entorno das áreas protegidas é dez vezes superior àquela do seu interior. Esse estudo também demonstrou, pela análise das taxas históricas de desmatamento ao redor das áreas protegidas, que não há significativa redistribuição do desmatamento em outras áreas com a criação de áreas protegidas. Portanto, a consolidação de áreas protegidas se sustenta como uma forte medida mitigadora do processo de desmatamento na Amazônia, a custos relativamente baixos. Assim, a criação e consolidação de áreas protegidas compõem uma estratégia nacional de redução do desmatamento, uma vez que a sua manutenção pode ser feita a custos relativamente baixos. Os mesmos autores (dados pessoais) estimam um custo de 1,3 a 10 bilhões de dólares (VPL) para a consolidação e gerenciamento da rede de áreas protegidas da Amazônia em um período de 30 anos. De acordo com estimativas de Amend et al. (2008), o custo da manutenção dessas áreas será de US\$3,72 por ha.⁵³

O programa **PRODES (Monitoramento da Amazônia Brasileira por Satélite)** realizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) desde 1988, é financiado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia e conta com a colaboração do IBAMA e MMA. As análises, realizadas a partir de imagens do satélite Landsat sensor TM, fornecem taxas anuais de desmatamento na região, incrementos e decrementos de áreas desmatadas e dados espacializados em formato vetorial e raster. Os resultados são amplamente utilizados pela comunidade científica nacional e internacional e foram importantes para a conscientização da sociedade no tocante ao processo de desmatamento ocorrendo na região. **DETER (Sistema de Detecção de**

53 Os autores chegaram a essa estimativa baseados nos custos anuais apresentados para a manutenção de 10 áreas protegidas na Amazônia, com custo total de US\$1,76 milhões por ano; mais detalhes disponíveis em <http://conservation-strategy.org/en/reports/reports>.

Desmatamento em Tempo Real), um outro programa desenvolvido pelo INPE a partir de dados do sensor MODIS do satélite Terra/Aqua e do Sensor WFI do satélite CBERS, ou seja, com menor refinamento que os dados do PRODES, é um sistema que objetiva um monitoramento rápido da dinâmica do desmatamento na Amazônia Legal, procurando dar suporte às atividades de fiscalização. Os relatórios são mensais nos períodos mais secos e trimestrais nos de maior intensidade de chuvas, devido à presença de nuvens. Contudo, o programa consegue identificar apenas as manchas maiores que 25 ha. Um terceiro programa, **DEGRAD (Mapeamento da Degradação Florestal na Amazônia Brasileira)** objetiva, utilizando imagens dos satélites CBERS e LandSat, mapear as manchas de degradação da floresta amazônica, ou seja, as áreas onde o desmatamento ainda não ocorreu completamente. Os estudos, que vêm sendo realizados desde 2007, permitem identificar áreas de até 6.5 hectares, em níveis distintos de degradação (ver Figura 43).

Figura 43: Identificação de padrões de degradação florestal na Amazônia no âmbito do programa DEGRAD. Fonte: INPE, 2009⁵⁴



De acordo com o relatório de Gestão do Instituto Nacional de Pesquisas, para os três últimos anos houve a seguinte disponibilidade de recursos para os projetos de monitoramento por satélite da Amazônia (que inclui os três programas supracitados) (Tabela 38):

Tabela 38: Recursos do INPE para monitoramento por satélite da Amazônia

Ano	Orçamento (milhões de R\$)	Total liquidado (milhões de R\$)
2006	1,42	0,46
2007	2,75	2,07
2008	2,85	2,08

Fonte: INPE, 2009⁵⁵.

⁵⁴ Disponível em <<http://www.obt.inpe.br/degrad/>>

⁵⁵ Disponível em <<http://www.inpe.br/dspace/bitstream/123456789/896/11/RG2008.pdf>>

B. Desenvolvimento de Projetos Integradores

PPCDAM - Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia: Possui a Casa Civil como instituição coordenadora e a sua implementação se dá através da ação coordenada de 13 ministérios. O objetivo geral do plano consiste na redução das taxas de desmatamento na Amazônia brasileira por meio de um conjunto de ações integradas de ordenamento territorial e fundiário, monitoramento, controle e fomento das atividades produtivas sustentáveis, envolvendo parcerias entre órgãos federais, governos estaduais, prefeituras, entidades da sociedade civil e o setor privado. Possui três eixos principais a partir dos quais orienta as suas atividades, sendo eles: (i) *Eixo Ordenamento Fundiário Territorial*; (ii) *Eixo Monitoramento e Controle Ambiental*; e (iii) *Eixo do Fomento a Atividades Produtivas Sustentáveis*. Estima-se que o Governo estaria planejando investir aproximadamente U\$ 500 milhões entre 2008 e 2011 em iniciativas relacionadas ao PPCDAM.

Programa Amazônia Sustentável (PAS): O programa consiste num conjunto de metas e diretrizes elaboradas a partir de um diagnóstico atualizado da Amazônia, visando alcançar um novo panorama de desenvolvimento focado nos resultados a longo prazo, no qual as soluções econômicas sejam ambientalmente sustentáveis. É conduzido por pacto entre os governos das esferas federal e estadual. O programa (um dos orientadores juntamente com o PPCDAM da destinação dos recursos do Fundo da Amazônia) parte do princípio de que é necessária maior ênfase no desenvolvimento do potencial socioeconômico de forma sustentável da floresta, uma vez que a mitigação de impactos através da criação de unidades de conservação não tem conseguido impedir o desmatamento na Amazônia. O programa defende, portanto, a união, em vez de separação de proteção e produção. As ações e estratégias devem ocorrer através de uma maior presença do Estado em nível local, regulando a dinâmica de apropriação do espaço e provendo condições, por meio da garantia de direitos sociais, às populações e comunidades, sendo que o capital privado deve participar, fornecendo condições para a concretização desses projetos (PPG7, FAM, etc.) (MMA, 2008).

C. Criação de fundos para defesa das florestas

Fundo Amazônia (FAM): Estabelecido pelo decreto nº 6.527⁵⁶, visa captar doações para investimentos não reembolsáveis em ações de prevenção, monitoramento e combate ao desmatamento, e de promoção da conservação e do uso sustentável das florestas no bioma amazônico. Contempla várias atividades: *gestão de florestas públicas e áreas protegidas; controle, monitoramento e fiscalização ambiental; manejo; atividades econômicas desenvolvidas a partir do uso sustentável da floresta; ZEE ordenamento territorial e regularização fundiária; conservação e uso sustentável da biodiversidade; recuperação de áreas desmatadas*. As ações contempladas devem observar diretrizes do PAS e PPCDAM, ou seja, o fundo está articulado em um contexto mais amplo de políticas públicas brasileiras de preservação. Os recursos que compõem o fundo (gerenciados pelo BNDES) são provenientes de doações e rendimentos das suas aplicações, sendo que os doadores serão certificados, inclusive em termos de valor equivalente em toneladas de carbono evitado, calculado de acordo com metodologia a ser estabelecida por equipe técnica. O Fundo conta com um Comitê Técnico (responsável pelo teste dos

56 Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6527.htm>. Último acesso em 09/05/2009.

cálculos de emissões feitos pelo MMA) e com um Comitê Orientador (responsável pelo zelo e preservação das finalidades das iniciativas do fundo). A Noruega assinou um contrato de doação de US\$ 110 milhões para o fundo, sendo a primeira parcela, do US\$ 1 bilhão previsto para ser doado ao fundo por aquele país, feita até 2015.

D. Uso sustentável dos recursos florestais e pagamento de serviços ambientais

Gestão de Florestas Públicas: Visando a promoção da conservação das florestas, a concessão de florestas públicas para utilização em fins sustentáveis é uma destinação não onerosa que visa a valoração das florestas. Para tanto, a partir do ano de 2006, a Lei 11.284 regulamenta a gestão de florestas em áreas públicas e a criação do Serviço Florestal Brasileiro (SFB) e do Fundo Nacional de Desenvolvimento das Florestas (FNDF). Esse documento legal estabelece três formas de gestão para a produção florestal: (i) A criação de unidades de conservação para produção florestal sustentável, como as Florestas Nacionais (FLONAS); (ii) A destinação não onerosa de florestas para fins de desenvolvimento sustentável e social; e (iii) Concessões⁵⁷ florestais pagas, baseadas em licitação pública, sendo que neste caso, o acesso aos produtos de utilização tradicional por parte das populações locais deve ser garantido. O SFB será responsável pelo sistema de gestão de florestas públicas, pelo fomento do desenvolvimento florestal sustentável e pelo gerenciamento do fundo (FNDF). No caso das concessões, é feita uma série de determinações objetivando que esse processo se reverta no máximo possível de ganhos socioeconômicos para a sociedade. Assim, a escolha das concessões a serem realizadas (que não podem ultrapassar, em 10 anos de experiência inicial, 20% da área passível de ser concedida) segue critérios tais como melhor preço, menor impacto ambiental, maior benefício socioeconômico, maior eficiência e maior agregação de valor local, além de estar restrita a empresas nacionais (Tabela 39).

Tabela 39: Benefícios e perdas da implantação de sistema de gestão de florestas públicas

Medida	Beneficiários	Perdas
Gestão de Florestas Públicas: Implantação do Sistema Florestal Brasileiro - Lei 11.284/06	Os beneficiários do novo sistema de gestão de florestas públicas serão as comunidades locais que vivem dos produtos da floresta, que querem participar da dinâmica econômica regional, formalizando a sua entrada no mercado, ampliando o uso múltiplo e usufruindo da condição não onerosa, empreendedores privados que preferem não comprar áreas e que querem explorar a atividade florestal de forma legal, a fim de que possam acessar crédito, exportar, exercer turismo, reflorestamento de áreas degradadas, buscar certificação, geração de emprego, rendas.	Há abertura para desmatamento, uma vez que a redução deste processo é esperada, mas não garantida.

Fonte: (Azevedo, T., Tocantins, M.A., 2006).

O Plano de Outorga Florestal define anualmente as florestas públicas que podem estar sujeitas à conversão, identificadas a partir do Cadastro Nacional de Florestas Públicas. Além disso, define os recursos necessários à gestão, especialmente no tocante ao monitoramento. A tabela 40 apresenta as estimativas de recursos necessários para implementar as atividades previstas em 2009:

⁵⁷ Não implicam direitos de posse, mas apenas de utilização dos recursos.

Tabela 40: Resumo dos gastos previstos para serviços em gestão pública de florestas em 2009

Atividade Prevista (síntese)	Recursos (milhões de R\$)
Cadastro Nacional de Florestas Públicas	8
Atividades de apoio ao manejo florestal	7.8
Concessões Florestais	10
Monitoramento de Florestas Públicas	15
Criação do Sistema Nacional de Infomações Florestais	5.4
Fundo Nacional de Desenvolvimento Florestal	2.5
Implantação da estrutura administrativa do SFB	8
Total	56.7

Fonte: Plano Anual de Outorga Florestal, 2009⁵⁸.

Bolsa Floresta: O programa Bolsa Floresta consiste em uma das primeiras aplicações do conceito de pagamento por serviços ambientais no Brasil, sendo implementado pelo Governo Estadual do Amazonas. Já em fase de implantação, prevê o pagamento de R\$ 50,00 mensais às famílias cadastradas no projeto e moradoras de unidades de conservação estaduais. A permanência das famílias no programa está ligada ao desenvolvimento de atividades sustentáveis nestas áreas, que envolvam principalmente a redução da prática do desmatamento. A meta estadual seria incluir cerca de 60 mil famílias no programa, e abranger o acesso às comunidades indígenas. Os recursos para a o programa vêm do Fundo Estadual de Mudanças Climáticas, Conservação Ambiental e Desenvolvimento Sustentável, criado pela Lei Estadual de Mudanças Climáticas nº 3.135⁵⁹.

Programa de Desenvolvimento Sustentável para a Produção Familiar Rural da Amazônia (PROAMBIENTE): Programa iniciado por movimentos sociais representativos de pequenos fazendeiros em associação com o IPAM em 2001, tendo sido posteriormente adotado pelo Ministério de Meio Ambiente e incluído no Plano Plurianual, buscando inovações em termos de políticas públicas para o desenvolvimento do pequeno agricultor na região da Amazônia, mais compatíveis com os paradigmas ambientais atuais. Ou seja, pretende superar a visão do crédito rural como único instrumento econômico para o desenvolvimento, e sugere a compensação por serviços ambientais⁶⁰ prestados pelos agricultores ligados ao programa como ferramenta, uma vez que estes realizariam uma transição para sistemas de produção sustentáveis. De acordo com relatório do Ministério do Meio Ambiente, o programa já estaria beneficiando quase 4 mil famílias de comunidades tradicionais distribuídas em 148 grupos comunitários, que por sua vez formam 11 polos distribuídos na Amazônia. Nesse programa a unidade base se torna a Unidade de Produção, cada uma representada por um grupo comunitário, sendo que acordos feitos entre os grupos de cada polo estabelecem metas de serviços ambientais a serem prestados em cada unidade. O pagamento para os agricultores dos

58 Disponível em http://www.mma.gov.br/estruturas/sfb/_arquivos/paof_2009_vf_95.pdf Último acesso em 11/05/2009.

59 Disponível em < http://www.florestavivaamazonas.org.br/download/Lei_est_n_3135_de_050607.pdf >

60 Por exemplo, a redução do desmatamento, recuperação de passivos ambientais, conservação do solo da água e da biodiversidade, redução do uso de agroquímicos, redução do risco de fogo, troca para matriz energética mais sustentável, transição para a agroecologia.

11 pplos está condicionado ao cumprimento das metas estabelecidas nos acordos. Além disso, o programa busca também a qualificação do agricultor que participa, através da ATER (Assistência Técnica e Extensão Rural), composta por agentes selecionados da própria comunidade e visando a formação de uma rede solidária de cooperação. O projeto conta ainda com o apoio de recursos do Fundo Nacional do Meio Ambiente – FNMA e da Embaixada dos Países Baixos. Com relação ao montante de recursos destinados, em um dos polos pioneiros do programa, o Polo Transamazônico (que engloba famílias de três municípios do estado do Pará), houve pagamento de compensação por seis meses para 340 famílias no valor de R\$ 100,00 mensais por família, uma compensação adicional de R\$ 126,00 por família para compra de materiais e ferramentas, e pagamento de salários de R\$380,00 para novos agentes comunitários por oito meses (Nepstad *et al*, 2007).

E. Certificação ambiental

Cadastro Socioambiental: O Cadastro de Compromisso Socioambiental (CCS) é um registro voluntário de propriedades cujos proprietários assumiram um compromisso de melhorar o “desempenho socioambiental” das suas propriedades (<http://www.yikatuxingu.org.br/projetos/ver/48>). O CCS já conta com mais de 1,5 milhões de hectares de propriedades, grande parte localizadas dentro das cabeceiras do Rio Xingu. Por conta do CCS, os proprietários cadastrados estão sendo privilegiados pelos frigoríficos que atuam na região. Por exemplo, os frigoríficos Independência e Bertim já pagam um preço melhor pela arroba de bovinos oriundos de propriedades listadas no CCS.

4.7 Balanço das emissões do uso do solo e das mudanças do uso do solo no Cenário de Baixo Carbono

Na base das opções de mitigação das emissões diretas, de redução das emissões ligadas ao desmatamento e de remoção de carbono por plantações, o modelo SIMBRASIL calculou as emissões anuais para o período 2007-2030 resultantes do uso da terra e mudanças no uso da terra para cada microrregião no Cenário de Baixo Carbono.

Comparadas às projeções no Cenário de Referência (Figura 44), as emissões geradas pelo desmatamento são consideravelmente mais baixas de acordo com a nova dinâmica de uso da terra considerada no Cenário de Baixo Carbono (Figura 45), ficando ao redor de 170-190 MtCO₂ e por ano durante grande parte do período. Esse decréscimo se deve à redução na demanda por áreas de pastagens e consequente queda da necessidade de conversão de terras por desmatamento.

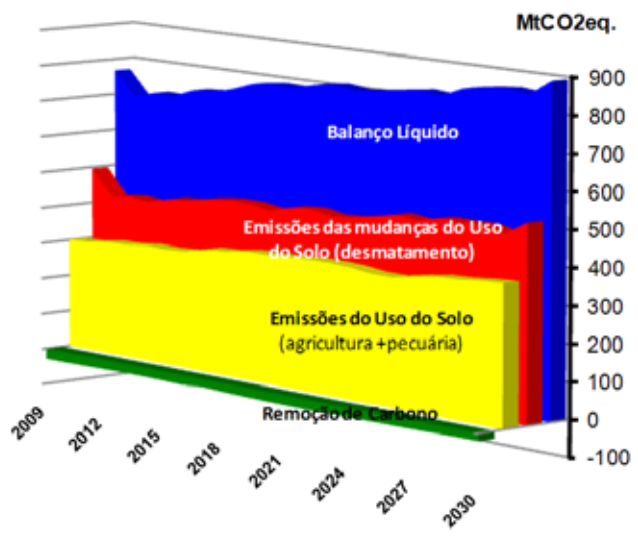
As emissões anuais geradas pelo uso da terra (agricultura e pecuária) crescem, no período, em 310–340 MtCO₂ e, com as geradas pela agricultura respondendo pela maior parte deste aumento. Mesmo assim, verifica-se uma redução geral de 6% nas emissões, em comparação ao Cenário de Referência. Quanto às emissões de CH₄ geradas pela criação de gado de corte, permanecem relativamente estáveis, ao nível de 236–249 MtCO₂ e por ano, já que o ganho representado pela redução na produção de CH₄ por

unidade de carne é compensado pelo crescimento na produção. Dessas emissões por uso, a pecuária consiste na maior fonte de emissão, ultrapassando mesmo as emissões pelo desmatamento na Amazônia.

Finalmente, a remoção de carbono exibe uma trajetória crescente, apresentando uma taxa inicial de aproximadamente 133 MtCO₂ por ano para 2010 e uma taxa final de 213 MtCO₂ por ano para 2030, como função da expansão da cobertura de florestas plantadas e da recuperação dos passivos ambientais das reservas legais e das APPs.

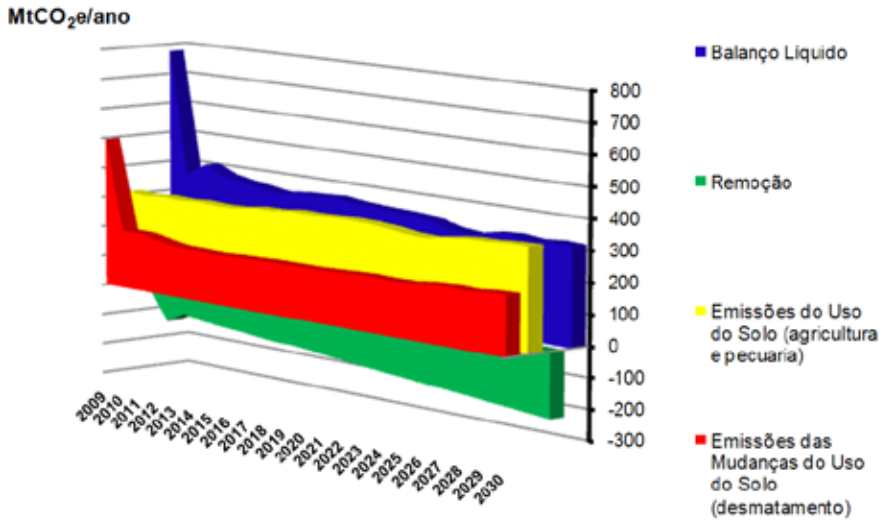
O balanço resultante entre uso, mudança e remoção de carbono exibe uma queda no volume das emissões líquidas entre 2007 e 2030, chegando a uma taxa de cerca de 321 MtCO₂ e por ano em 2030, uma redução de quase 65% em comparação com o Cenário de Referência.⁶¹

Figura 44: Resultados do Cenário de Referência: emissões do uso da terra e das mudanças no uso da terra, 2009–30



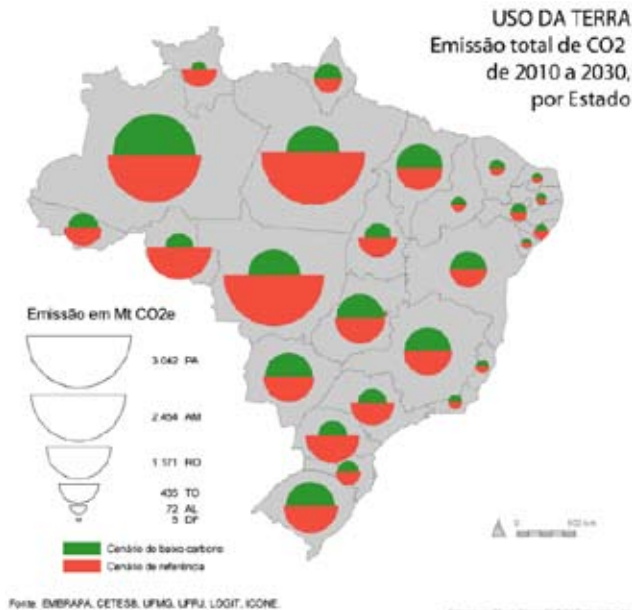
61 Se a remoção de carbono através da regeneração natural de florestas degradadas fosse incluída, o potencial de remoção aumentaria em 112MtCO₂ por ano, em média, reduzindo assim as emissões líquidas.

Figura 45: Emissões geradas pelo uso da terra e pela mudança no uso da terra de acordo com a nova dinâmica de uso da terra, no Cenário de Baixo Carbono



O Mapa 36, abaixo, compara as emissões líquidas geradas pelo uso da terra e pela mudança no uso da terra no Cenário de Referência e no Cenário de Baixo Carbono para cada unidade da federação.

Mapa 36: Total cumulativo de emissões do Uso da Terra (Agricultura, Bovinocultura, Desmatamento, Reflorestamento), 2010 a 2030



A redução de emissões de desmatamento e a remoção de carbono através de plantações e restauro florestais é muito maior do que a redução de emissões de todos os outros setores (energia, transporte e resíduos) considerados no estudo global de baixo carbono para o Brasil. A redução do desmatamento e de plantações florestais são as duas áreas onde o Cenário de Baixo Carbono proposto teve o maior sucesso na redução de emissões. Juntas, estas duas áreas representam 67% das reduções líquidas acumuladas ao longo do período 2010-2030 (Tabela 41). Emissões dos setores de transporte e energético são mais difíceis de se reduzir, uma vez que já são baixas em comparação aos padrões internacionais, principalmente devido à grande parcela de hidroeletricidade e bioetanol na matriz energética atual.

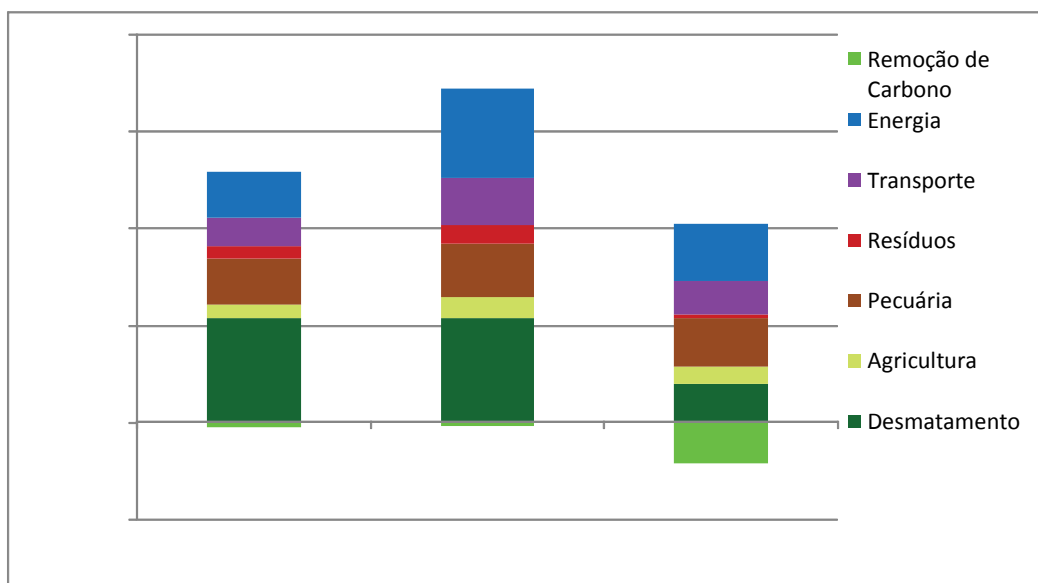
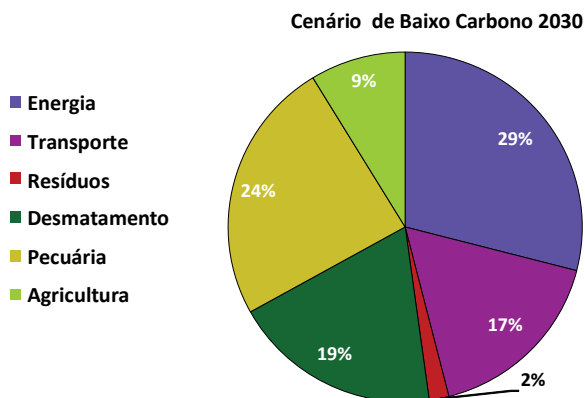
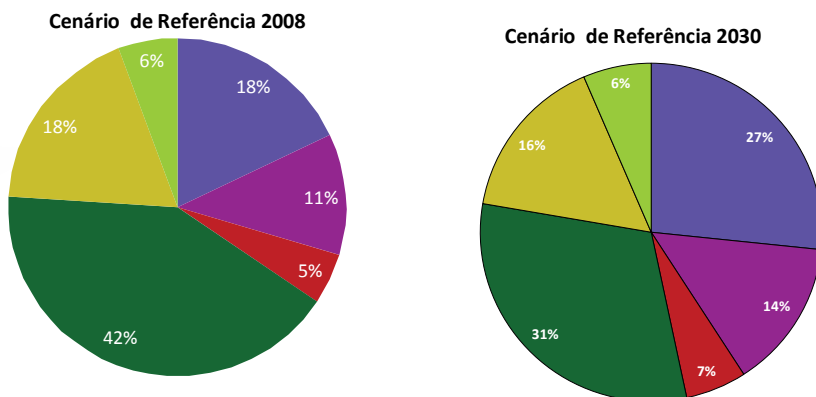
Tabela 41: Comparação da distribuição de emissões cumulativas entre setores nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono, 2010–30

Setor	Cenário de Referência (2010-2030)		Cenário de Baixo Carbono (2010-2030)		Redução		
	MtCO ₂ e	% do total	MtCO ₂ e	% do total	MtCO ₂ e	% do total	% do Cenário de Referência (2010-2030)
Uso da Terra	16.709	55	9.228	48	7.481	67	44
Resíduos	1.633	6	375	3	1.258	12	78
Transportes	4.101	14	3.610	19	487	5	13
Energia	7.587	25	5.763	30	1.824	16	24
Total	30.030	100	18.980	100	11.050	100	37

Como consequência, a distribuição de emissões de GEE entre setores no Cenário de Baixo Carbono varia significativamente da distribuição observada no Cenário de Referência, principalmente porque a parcela de emissões por desmatamento é reduzida a aproximadamente 70% em comparação com o Cenário de Referência (Figura 46).

Figura 46: Comparação da distribuição de emissões brutas por setores nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono, 2008–30

200



4.8 Principais incertezas nas estimativas de emissões

Como os Cenários de Referência e de Baixo Carbono propostos estão sujeitos a incertezas, os resultados são apenas indicativos, e devem ser utilizados para informar os tomadores de decisão sobre emissões futuras se as hipóteses do estudo, que foram baseadas em um processo consultivo amplo e constante, forem verificadas. Algumas das incertezas são resultado de cálculos relacionados ao Cenário de Referência ou de Baixo Carbono, independentemente, enquanto outras dizem respeito aos dois simultaneamente. Esta seção delinea em primeiro lugar as incertezas para as quatro áreas principais, e então discute as incertezas mais específicas de cada setor.

201

Projeções Macroeconômicas

Para atividades geradoras de emissões, tanto o Cenário de Referência, quanto o de Baixo Carbono dependem amplamente das projeções macroeconômicas do Plano Nacional de Energia de 2030 (PNE 2030), publicado pelo EPE em 2007. O cenário B1 do plano, adotado como caso de referência, estima que a taxa média de crescimento da economia brasileira fique em 4,1% por ano. Em consequência da crise financeira recente, o governo brasileiro espera um crescimento mais baixo do PIB, especialmente no próximo período. Se isso ocorrer, a oferta e procura menores por uma variedade de serviços e produtos diminuiriam o ritmo do desmatamento e do consumo de energia, incluindo a demanda por serviços de transporte. Entretanto, considerando o alcance de longo prazo do estudo, projeções de médio prazo para crescimento de emissões no Cenário de Referência são menos afetadas pela crise, e permaneceriam basicamente as mesmas. As mesmas tendências de curto e médio prazo seriam aplicadas ao Cenário de Baixo Carbono.

Questões referentes ao Uso da Terra

No que diz respeito às incertezas sobre emissões pelo uso da terra projetado, é preciso distinguir entre o volume bruto de emissões de fontes de GEE e as emissões líquidas após integrar na conta atividades de remoção de carbono envolvendo principalmente florestas de produção e restauro de floresta nativa. Incertezas por emissões brutas diferem entre o primeiro e segundo estágio dos cálculos: (i) projetando o uso da terra e as mudanças no uso da terra e (ii) convertendo os resultados em emissões.

A modelagem econômica desenvolvida para o primeiro estágio dos cálculos se beneficiou amplamente da riqueza de dados históricos locais, que permitiram calibrações robustas dos principais parâmetros e equações (Quadro 3). Com base nos resultados, acredita-se que as principais incertezas estejam ligadas às projeções macroeconômicas mencionadas acima, que afetam diretamente as projeções para plantio expandido e produção de carne, e, portanto, o desmatamento. Se o plantio e a produção de carne expandirem mais do que o esperado no Cenário de Referência, seria necessário um esforço maior no Cenário de Baixo Carbono para liberar pastos em quantidade suficiente; de outra forma, o desmatamento adicional resultante levaria a maiores emissões.

Para o segundo estágio dos cálculos, as principais incertezas têm por base os dados disponíveis para conteúdo de carbono no solo e vegetação convertida, que determinam a conversão do desmatamento em emissões de GEE. Estimativas do conteúdo de carbono da biomassa acima e abaixo do solo dependem da precisão dos dados, que só pode ser melhorada com pesquisas de campo intensivas. A incerteza dos dados utilizados para este estudo nacional é estimada em cerca de 20%, afetando principalmente o Cenário de Referência, uma vez que a conversão da vegetação nativa é reduzida a níveis bastante baixos no Cenário de Baixo Carbono.

No Cenário de Baixo Carbono, uma incerteza adicional é o ritmo de liberação de pasto para a expansão de plantios e, ao mesmo tempo, atender ao cenário da legalidade adotado como meta para a remoção de carbono com base no restauro florestal, sem induzir desmatamento. A rápida queda de emissões por desmatamento exige esforços consideráveis para aumentar a produtividade pecuária e liberar pasto para outras atividades. À medida que a liberação dos pastos mantiver o ritmo da necessidade anual por terras adicionais para expansão do plantio e recuperação das reservas legais, a conversão da vegetação nativa não será mais necessária; na teoria, o desmatamento e as emissões relacionadas a ele serão então zerados. Algumas questões importantes dizem respeito ao ritmo da liberação de pasto e à expansão na agricultura – se ficarão equilibrados, e se as condições necessárias serão criadas para garantir que o ritmo da expansão da agricultura não seja rápido demais. É de extrema importância que seja alcançado o ritmo correto no lado da pecuária e que sejam fornecidos os incentivos corretos – positivos e/ou negativos – para proteção florestal. Se os gastos necessários com financiamento não forem realizados a tempo, é de se esperar um efeito rebote e o desmatamento e as emissões relacionadas a ele irão recomeçar.

Outra incerteza envolve o efeito esperado dos ganhos de produtividade sobre o crescimento da pecuária. No estudo, a parcela brasileira do mercado internacional é considerada uma projeção exógena da FAPRI (Quadro 3). A produtividade maior poderia aumentar a concorrência e provocar uma produção maior. Como os ganhos de produtividade convergem com uma menor necessidade para áreas de pasto, esse efeito não deveria causar mais desmatamento, desde que tais ganhos estejam limitados às áreas onde antes havia sistemas de baixa produtividade.

Incertezas inerentes à modelagem econômica de cenários futuros de uso da terra estão relacionadas à modelagem de (i) demanda doméstica (uma função da renda, ligada a projeções macroeconômicas e preços de equilíbrio determinados pela modelagem), (ii) exportações (uma função de parâmetros macroeconômicos e preços), e (iii) produção (uma função de custos e produtividade por hectare). Elasticidades de preço foram calibradas a partir de uma série histórica (1996-2008), enquanto custos de produção e produtividade por hectare para diversos plantios foram baseados nos dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB); Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE); e Agroconsulta e Scott Consultoria, duas empresas privadas que atualizam anualmente as estimativas para o setor. As projeções para exportações brasileiras são exógenas, e tiveram como base as projeções globais do Food and Agricultural Policy Research Institute (FAPRI), a mesma fonte utilizada pelo Departamento de Agricultura dos EUA; as projeções do FAPRI foram utilizadas para calibrar as projeções de exportação para 2009-18 e 2019-30.

Assim, assume-se que as principais incertezas estão ligadas às projeções macroeconômicas. No Cenário de Referência, as projeções para exportações de carne e pasto são relativamente conservadoras. Com exceção da região amazônica, onde espera-se um crescimento significativo do pasto, o volume nacional permanece relativamente estável, devido à estabilidade continuada de demanda global por carne. A estabilização na exportação de carne – ou mesmo uma pequena queda, observada nos últimos anos – é difícil de se reverter para a indústria brasileira, seguindo o desenvolvimento impressionante da década anterior (1997–2006).

Fonte: ICONE

No Cenário de Baixo Carbono, o principal potencial de remoção de carbono está no restauro de reservas florestais legais. Na verdade, o Cenário de Baixo Carbono proposto considerou concordância total com a Lei de Reservas Florestais – incluindo um enorme esforço para restaurar florestas nativas e zonas ribeirinhas – como objetivo para a remoção de carbono. Esse “cenário da legalidade” romperia com o passado. Pode ser difícil implementar um cenário da legalidade completo; já foram discutidos mecanismos de flexibilidade, especialmente em relação a reservas legais, que podem reduzir a área líquida de reflorestamento. Por exemplo, em estados da Amazônia, como Rondônia e Pará, que já desenvolveram um zoneamento econômico e ecológico, a reserva legal pode ser reduzida de 80 para 50%, especialmente para propriedades rurais localizadas ao longo das principais estradas. Em troca, os proprietários se comprometeriam a restaurar completamente a reserva legal de 50%, com os 30% abatidos sendo convertidos em “áreas de consolidação da agricultura”.

Assim, o volume de remoção de carbono indicado no estudo pode estar na parte superior do escopo. Incluir a flexibilidade nos objetivos reduziria os ganhos em termos de volume de carbono sequestrado; ao mesmo tempo, facilitaria os esforços de liberação da quantidade correspondente de pasto, mitigando, portanto, o risco de indução de um vazamento de carbono. Essa conversão de vegetação nativa ocorreria

em outro lugar, como resultado do efeito dominó motivado pela redução líquida induzida de terras disponíveis em nível nacional para expansão de plantio e pecuária. Em termos de equilíbrio de carbono, é preferível evitar a liberação na atmosfera do estoque total de carbono de um hectare de floresta queimada em prol da remoção progressiva de GEEs da atmosfera através do restauro de um hectare florestal. Assim, é essencial garantir a consistência entre esforços para liberar pastos e exigir o restauro das reservas legais.

4.9 Benefícios relacionados à redução das emissões de aerossóis oriundos do desmatamento por fogos

Um estudo foi conduzido com os objetivos de gerar estimativas de emissões de aerossóis de queimadas nos cenários projetados, os efeitos das mudanças do uso e cobertura do solo nos fluxos de superfície e, finalmente, como estas mudanças afetam o ciclo hidrológico da América do Sul, em especial da Amazônia.

As queimadas, que ocorrem majoritariamente em áreas tropicais do planeta, são fontes importantes de poluentes para a atmosfera (Artaxo et al., 2002, Andreae 1991). Na América do Sul, durante os meses de inverno, ocorrem centenas de milhares de focos de incêndio principalmente em ecossistemas de cerrado e floresta. Estas queimadas ocorrem primariamente nas regiões Amazônica e do Brasil Central, porém, através do transporte atmosférico de suas emissões, produzem uma distribuição espacial de fumaça sobre uma extensa área, ao redor de 4-5 milhões de km², em muito superior a área onde estão concentradas (Freitas et al, 2005, 2006, 2007). Durante a combustão de biomassa são emitidos para a atmosfera gases, incluindo alguns de efeito estufa e precursores do ozônio troposférico, e partículas de aerossol que interagem eficientemente com a radiação solar e afetam os processos de microfísica e dinâmica de formação de nuvens e a qualidade do ar. Os efeitos destas emissões excedem, portanto, a escala local e afetam regionalmente a composição e propriedades físicas e químicas da atmosfera na América do Sul e áreas oceânicas vizinhas, com potencial impacto em escala global.

Em escalas regional e global, estas emissões de queimadas alteram o balanço radiativo da atmosfera, através dos efeitos diretos das partículas de aerossóis ao refletir e espalhar a radiação solar de volta para o espaço, reduzindo a quantidade absorvida pela superfície terrestre, e ao absorver radiação solar, aquecendo a atmosfera. Jacobson (2001) sugere que o aquecimento atmosférico devido aos aerossóis do tipo *black carbon* poderia balancear o efeito de resfriamento associado a outros tipos (sulfatos), e que a forçante radiativa direta destes pode exceder aquele associado ao CH₄. Desta forma, partículas de aerossol, produto de processos de combustão incompleta, estariam atrás somente do CO₂ na contribuição para o aquecimento radiativo da atmosfera.

O balanço de radiação e o ciclo hidrológico também podem ser afetados indiretamente pelas emissões de queimadas, via alterações na microfísica e na dinâmica de formação de nuvens (Kaufman, 1995), em função de uma maior disponibilidade de núcleos de condensação de nuvem (NCN) e gelo na atmosfera, os

quais promovem mudanças no espectro de gotas de nuvem (Andreae et al., 2004; Koren et al., 2004, Rosenfeld, 1999, Cotton e Pielke, 1996) e estabilização termodinâmica (Longo et al., 2006). O aumento da concentração de partículas de aerossol impõe a produção de gotas de nuvem menores e em maior número, produzindo dois efeitos: primeiro, a maior quantidade de gotas reflete mais radiação solar de volta para o espaço (portanto resfriando a atmosfera), e, segundo, o tamanho menor será menos favorável para a produção de chuva, pois gotículas muito pequenas não tendem a se aglutinar para formar as grandes gotas que caem como chuva. Por outro lado, a estabilização termodinâmica imposta pela interação direta das partículas de aerossol com a radiação solar (diminui o aquecimento na baixa atmosfera por redução da radiação solar), restringe a ascensão de células convectivas geradas próximo à superfície e, assim, inibe a formação de nuvens. Este conjunto de fatores sugere que os efeitos das queimadas podem extrapolar a escala local e afetar, de maneira importante, o ciclo hidrológico numa escala regional e o padrão da redistribuição planetária de energia dos trópicos para as latitudes médias e altas.

Por outro lado, mudanças no uso da terra provocam alterações no balanço de energia, água e de *momentum* na superfície devido às correspondentes mudanças no albedo da superfície, capacidade de evapotranspiração associada à cobertura vegetal e sua estrutura espacial. Em particular, a substituição de áreas florestadas com sistema radicular profundo por áreas de pastagens implica em aumento no albedo e baixa acessibilidade a solos profundos com alto armazenamento de água. Esta mudança leva, em geral, a uma inversão na razão de Bowen, produzindo camadas limite planetárias mais secas, quentes e profundas, principalmente durante a estação seca. Desta forma, mudanças no uso da terra são, por si só, indutoras de alteração no padrão do ciclo hidrológico e estas alterações podem ser avaliadas com o uso de modelos numéricos e de cenários de ocupação da terra.

Outro aspecto relevante e pouco estudado corresponde ao efeito da mudança do uso da terra nos aerossóis de poeira. Com solos mais expostos e ventos mais intensos (o que se espera com a diminuição da rugosidade do terreno ao trocar florestas por pastagens) poderá haver um aumento significativo na produção e levantamento de poeira de solo com impactos também no balanço radiativo, microfísica de nuvens e ciclo hidrológico.

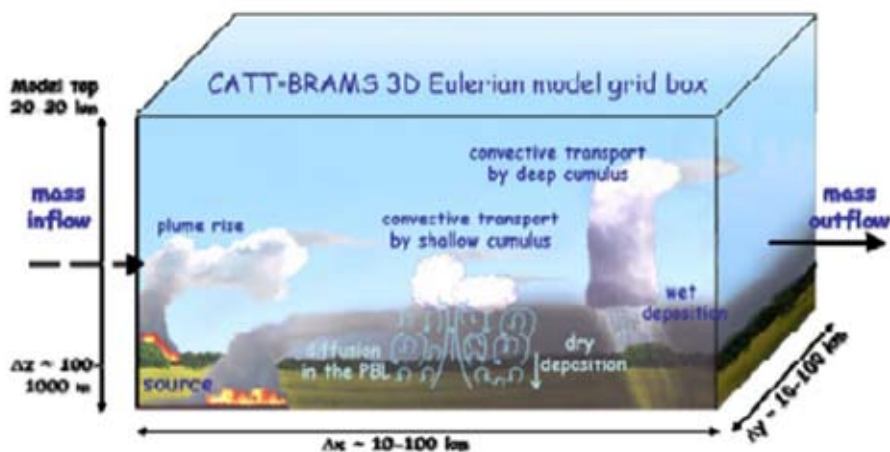
4.9.1 *Metodologia: Modelagem numérica com o CCATT-BRAMS*

A metodologia de trabalho se baseia na modelagem numérica da atmosfera utilizando o modelo de emissão, reatividade química, transporte e deposição de gases e aerossóis CCATT (Coupled Chemistry-Aerosol-Tracer Transport) acoplado ao modelo atmosférico BRAMS (Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modelling System).

O BRAMS é um modelo numérico meteorológico capaz de simular circulações atmosféricas em escalas hemisféricas até escalas de grandes turbilhões da camada limite planetária. O modelo é equipado com um esquema de múltiplos aninhamentos que permite resolver simultaneamente diversas escalas espaciais e temporais (Walko et al., 2000), possuindo o estado da arte em parametrizações físicas e com uma moderna

parametrização de nuvens cumulus desenvolvida no formalismo de ensemble (Grell e Devenyi, 2002). O CCATT é um sistema numérico apropriado para simular e estudar emissões, transporte, deposição e processos físicos e químicos associados a gases traço e aerossóis atmosféricos. É um modelo de transporte Euleriano totalmente acoplado ao BRAMS, permitindo a previsão numérica simultânea do tempo, da qualidade do ar e impactos dos aerossóis e mudanças do uso terra na evolução da atmosfera (Freitas et al. 2005, 2006, 2007; Longo et al, 2006, 2007). Possui um modelo de transporte que resolve fenômenos na escala da grade e sub-grade (principais processos exibidos na Figura 47), além de um mecanismo químico completo para o prognóstico de espécies químicas reagentes.

Figura 47: Processos de transporte simulados pelo CCATT-BRAMS, incluindo levantamento de pluma (plume rise), transporte convectivo por cumulus profundos e rasos (deep and shallow convective transport by cumulus), difusão na camada limite (diffusion in the PBL), deposição seca (dry deposition) e deposição úmida (wet deposition)



Diversos tipos de aerossóis são parametrizados pelo CCATT, incluindo material particulado gerado por queimadas, ressuspensão de poeira do solo, atividades agrícolas e emissão de origem urbano/industrial. Seu esquema de radiação CARMA (Community Aerosol & Radiation Model for Atmospheres) permite a avaliação dos efeitos de onda curta e onda longa em partículas de aerossóis e hidrometeoros. Este fato permite que o modelo seja capaz de realizar estudos dos efeitos diretos e indiretos dos aerossóis no balanço radiativo, além de cálculos de taxas de aquecimento, constituindo uma importante ferramenta para estudos de interação entre os aerossóis e a atmosfera (Longo et al., 2006).

Os efeitos das mudanças no uso da terra na circulação atmosférica são estudados por meio de uma série de simulações numéricas onde o padrão de ocupação da superfície foi descrito pelos Cenários de Referência e de Baixo Carbono gerados por outros grupos. Neste estudo são utilizados mapas de uso da terra e de emissão de carbono equivalente para o período de 2007 a 2030. As características de cada tipo

de ocupação exibidas pelos mapas de uso da terra foram obtidas através da literatura. Estes incluíram propriedades biofísicas relevantes como albedo, rugosidade, índice de área foliar e profundidade de raízes. Estas propriedades permitiram a parametrização da superfície para uma adequada simulação dos fluxos de calor sensível, calor latente e *momentum*. Em cada uma das simulações, diferentes efeitos foram considerados ou não, separadamente, permitindo um entendimento do impacto individual e dos possíveis *feedbacks* existentes.

A seção seguinte mostra como os dados de carbono equivalente e os mapas de uso da terra foram utilizados nas estimativas das emissões de aerossóis.

4.9.1.1 Cálculo das emissões de aerossóis

No cálculo das emissões referentes aos aerossóis foram utilizados dois tipos de dados: mapas de uso da terra e mapas de emissão de carbono equivalente sobre o Brasil. Estes dados englobam o período de 2007 a 2030 e foram gerados para o Cenário de Referência e Cenário de Baixo Carbono. Ambos os dados possuem resolução de 1x1 km e foram produzidos pela equipe do Tema A. O uso em conjunto destes dados permitiu a estimativa da emissão de aerossóis a partir da quantidade de carbono equivalente disponível no ambiente para os dois cenários em enfoque.

As emissões foram assumidas como provenientes da combustão de biomassa gerada pelo desmatamento de áreas de florestas e que posteriormente foram convertidas para outros usos (como agricultura e pastagem). A localização das áreas de desmatamento foi realizada com os mapas de uso da terra. Esses mapas ilustram o tipo de ocupação e de bioma presente num dado local (Mapa 37). Com o uso de mapas anuais deste tipo foi possível determinar a evolução anual da cobertura de florestas, e assim, localizar as regiões em que estas desapareceram (desmatamento).

Enquanto os mapas de uso da terra foram utilizados na localização dos pontos de emissão de aerossol, os mapas de carbono equivalente foram utilizados na determinação da quantidade de aerossol emitido nestes pontos. Foram utilizados apenas valores positivos de carbono equivalente devido ao objetivo de se estimar as emissões a partir do carbono emitido ao ambiente. Os cálculos necessários para a transformação da emissão de carbono equivalente em emissão de aerossóis obedeceram aos seguintes passos:

- a) Estimação da quantidade de carbono equivalente emitida através de combustão
- b) Transformação dessa quantidade para emissão em termos de dióxido de carbono
- c) Obtenção da emissão devida aos aerossóis com o uso de valores de fatores de emissão disponíveis na literatura.

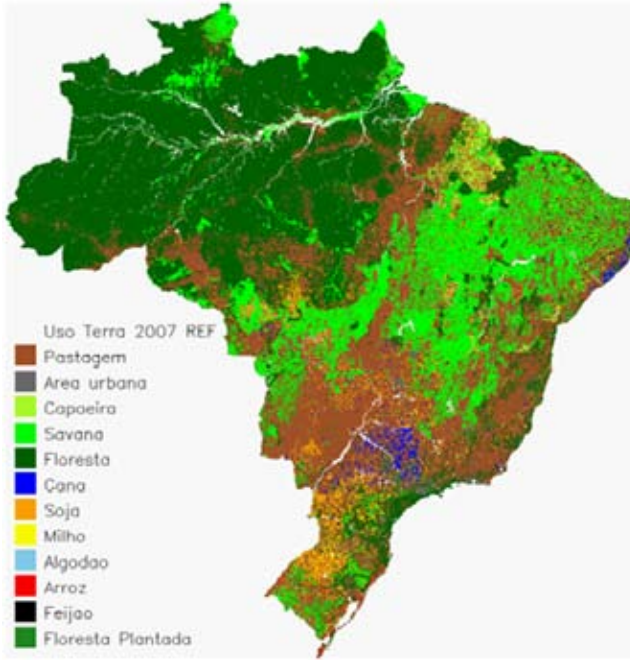
Para o cálculo do item a foi assumido que 85% do carbono equivalente emitido foi devido a processos de combustão (Soares Filho, comunicação pessoal), então temos (Equação 48):

$$[\text{emissão carbono equivalente combustão}] = 0,85[\text{emissão carbono equivalente}] \quad (48)$$

Na transformação descrita no item b foi adotado o fator de 3,66 (Soares Filho, comunicação pessoal) para a conversão do carbono equivalente emitido em termos de dióxido de carbono (Equação 49):

$$[\text{emissão dióxido de carbono}] = 3,66[\text{emissão carbono equivalente}] \quad (49)$$

Mapa 37: Mapa de uso da terra para o ano de 2007 no Cenário de Referência com resolução de 1x1km



O item c foi realizado com a utilização dos valores de fator de emissão para o dióxido de carbono e para os aerossóis. Com eles é possível estimar a fração de CO₂ atribuída ao material particulado e assim estimar a emissão devida aos aerossóis. A Tabela 42 mostra alguns valores de fator de emissão associados à floresta, savana e pastagem, conforme trabalho realizado por Andreae e Merlet, 2001.

Tabela 42: Valores de fator de emissão (g/kg) para diferentes biomas para o CO₂ e aerossóis (material particulado com diâmetro inferior a 2,5 micrômetros – PM_{2,5}) conforme Andreae e Merlet, 2001

	CO ₂	PM _{2,5}
Floresta Tropical	1580	9,1
Savana	1664	4,9
Pastagem	1664	4,9

Como o desmatamento foi assumido a partir da combustão de biomassa de remanescentes florestais, foram utilizados os valores associados com floresta tropical, ou seja, 1580 g/kg para o fator de emissão do dióxido de carbono e de 9,1 g/kg para os aerossóis. Considerando o que foi dito nos itens anteriores, a expressão para o cálculo das emissões de aerossóis pode ser escrita da forma (Equação 50):

$$[\text{Emissão aerossóis}] = ([\text{fator de emissão aerossóis}] / [\text{fator de emissão dióxido carbono}]) * [\text{emissão dióxido carbono}] \quad (50)$$

209

e com o uso das Equações (51) e (52) obtemos:

$$[\text{Emissão aerossóis}] = 0,85 * 3,66 * ([\text{fator de emissão aerossóis}] / [\text{fator de emissão dióxido carbono}]) * [\text{emissão carbono equivalente}] \quad (51)$$

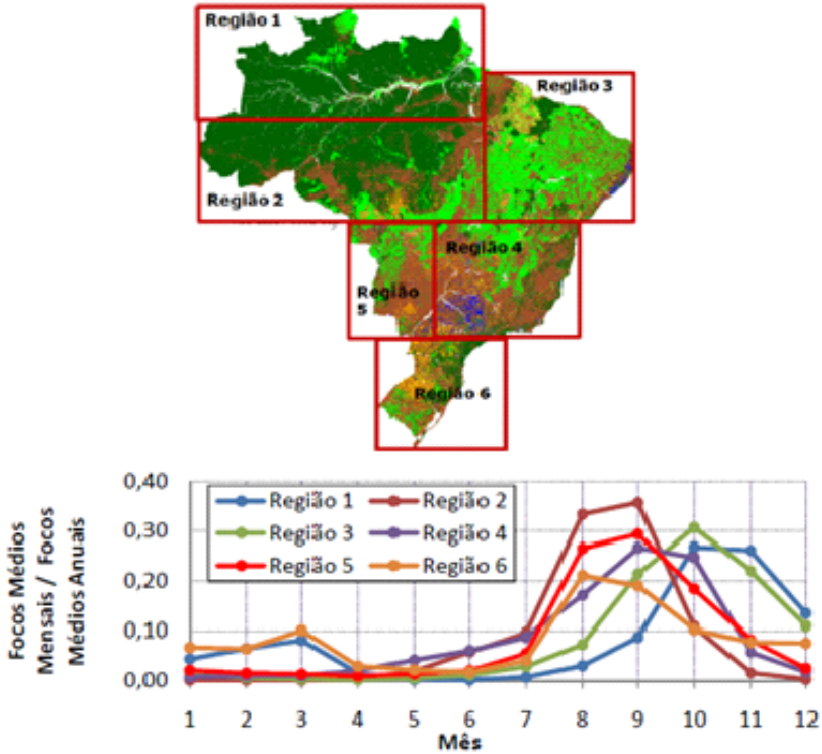
ou

$$[\text{Emissão aerossóis}] = 0,85 * 3,66 * (9,1 / 1580) * [\text{emissão carbono equivalente}] \quad (52)$$

que ilustra diretamente a conversão da emissão de carbono equivalente para aerossóis emitidos por combustão. As unidades de emissão são as mesmas especificadas para o carbono equivalente, ou seja, toneladas por hectare e por ano.

Finalizando, para a inserção dos dados de emissão no CCATT-BRAMS, foi necessário parametrizar o comportamento anual destas emissões. Como o modelo gera resultados a cada 6 horas, os dados de emissão foram convertidos para uma maior resolução temporal. Isso foi realizado através de curvas do comportamento do número de focos de emissão gerados para 6 regiões diferentes do Brasil, como mostrado no Mapa 38. Desta forma, os dados anuais de emissões foram convertidos em dados diários e inseridos no modelo. Nota-se que o pico das emissões geralmente ocorre no período de agosto a novembro, dependendo da região.

Mapa 38: Mapa esquemático do Brasil mostrando as diferentes regiões delimitadas sobre o país para a análise dos resultados (acima). Abaixo, comportamento normalizado do número de focus de emissões nas diferentes regiões obtidos com dados do sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) no período de 1998 a 2008 presentes nos satélites da série NOAA



Fonte: National Oceanic and Atmospheric Administration

4.9.1.2 Emissões de aerossóis nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono

Este item discute os resultados obtidos na estimativa das emissões de aerossóis no Cenário de Referência e de Baixo Carbono. Nos cálculos foram levados em conta apenas as emissões provenientes do desmatamento, como discutido na metodologia. O comportamento das emissões anuais pode ser conferido na Figura 48 e na Tabela 44.

Ambos os cenários apresentaram uma diminuição das emissões até o ano de 2010. No Cenário de Baixo Carbono, o decaimento é mais abrupto, atingindo uma emissão de aproximadamente 6000 toneladas por hectare-ano em 2010. No Cenário de Referência este valor é de aproximadamente 16000 toneladas (62% maior). A partir de 2010 as emissões ficaram praticamente estabilizadas no Cenário de Baixo Carbono, com valor próximo de 7600 toneladas em 2030. No Cenário de Referência ao contrário, ocorreu um aumento com emissão máxima em 2030 de aproximadamente 22400 toneladas, sendo este valor ainda inferior ao da emissão de 2007 (22800 toneladas). De acordo com os valores da Tabela 43, as emissões no Cenário de Baixo Carbono são de 62 a 66% menores que as do Cenário de Referência no período de 2010 a 2030.

Figura 48: Estimativa da emissão total anual de aerossóis sobre o Brasil para os Cenários de Referência e de Baixo Carbono (valores na Tabela 44)

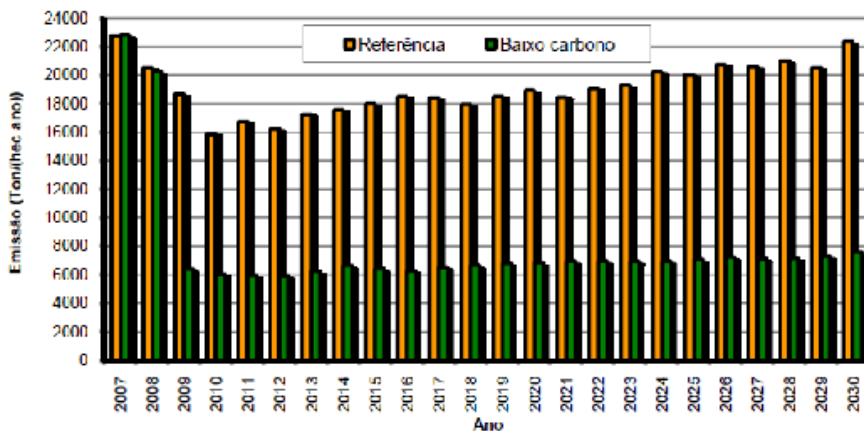


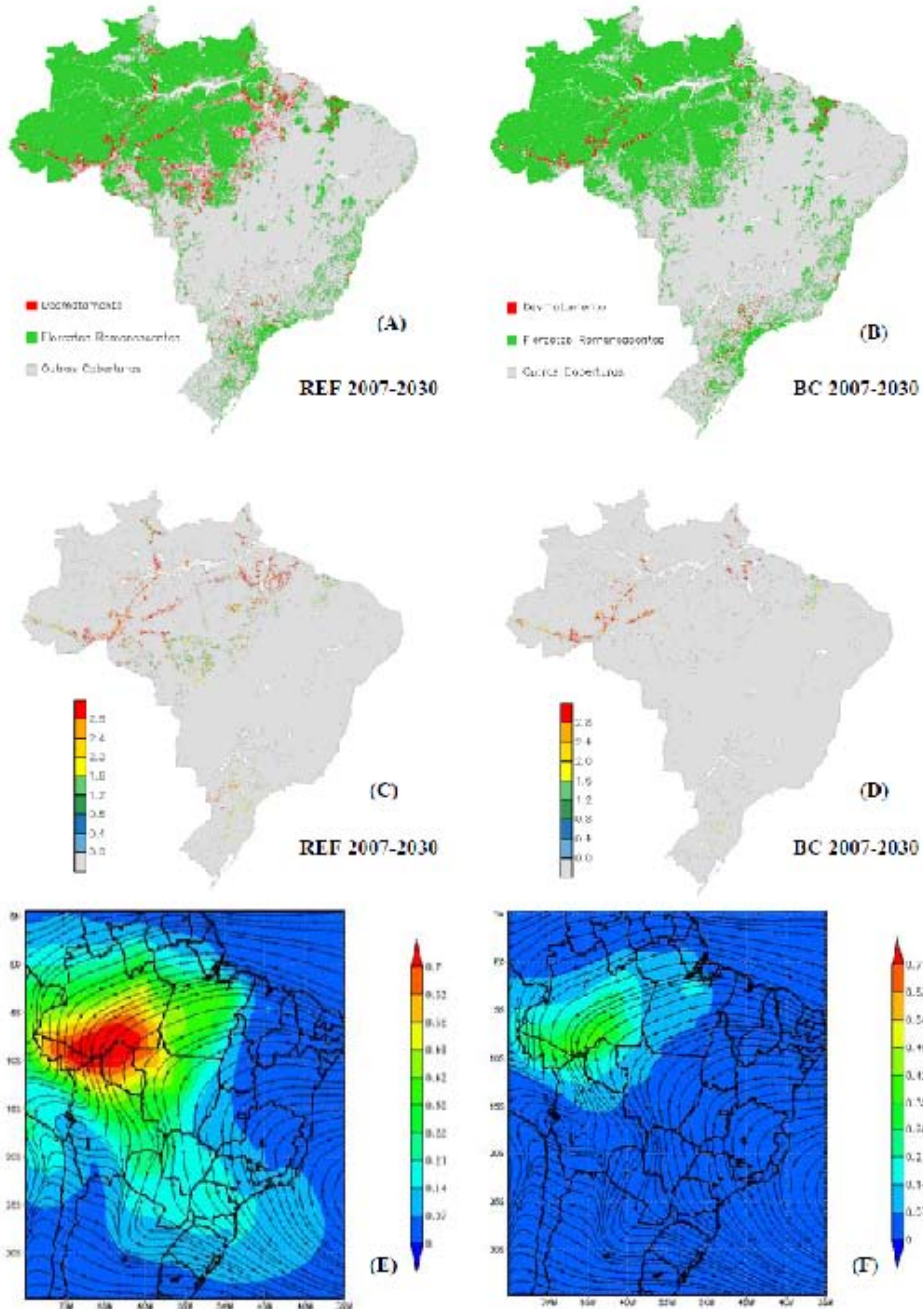
Tabela 43: Emissão total anual de aerossóis (toneladas por hectare e por ano) em todo o território brasileiro considerando os Cenários de Referência (REF) e de Baixo Carbono (BC). Também são exibidos os valores das diferenças absolutas (BC-REF) e percentuais (BC-REF (%)) entre as emissões dos dois cenários

Ano	REF	BC	BC-REF	BC-REF(%)
2007	22789	22854	65	0,3
2008	20505	20253	-252	-1,2
2009	18684	6397	-12286	-65,8
2010	15879	6035	-9844	-62,0
2011	16723	5975	-10748	-64,3
2012	16234	5940	-10295	-63,4
2013	17244	6242	-11002	-63,8
2014	17594	6655	-10939	-62,2
2015	17996	6411	-11585	-64,4
2016	18534	6267	-12267	-66,2
2017	18428	6546	-11882	-64,5
2018	17960	6669	-11291	-62,9
2019	18532	6814	-11718	-63,2
2020	18929	6859	-12070	-63,8
2021	18468	6977	-11491	-62,2
2022	19063	6972	-12091	-63,4
2023	19282	6958	-12323	-63,9
2024	20224	6947	-13276	-65,6
2025	20021	7084	-12937	-64,6
2026	20729	7238	-13491	-65,1
2027	20604	7147	-13457	-65,3
2028	21002	7160	-13842	-65,9
2029	20507	7301	-13207	-64,4
2030	22373	7584	-14789	-66,1
Total	458305	191286	-267020	-58,3

O Mapa 39 mostra a distribuição espacial das emissões de aerossóis sobre o país nos dois cenários. Eles se concentram principalmente na floresta Amazônica e na sua região de transição com as savanas. A diferença na distribuição espacial entre os Cenários de Baixo Carbono e de Referência se deve principalmente à diferença de intensidade no ritmo de desmatamento sobre as regiões. No Cenário de Referência principalmente nas áreas de transição para a floresta Amazônica, ocorre uma intensa conversão de áreas de floresta para pastagens, o que causa um aumento de áreas de emissão neste cenário. A área de expansão de pastagens sobre o Brasil aumentou de $2,6 \times 10^6$ para $2,8 \times 10^6$ km² no Cenário de Referência.

Como comparação visual, o Mapa 39 também mostra a carga de aerossóis simulada pelo modelo CCATT-BRAMS, representada pela profundidade óptica do aerossol, ilustrando o resultado obtido com a entrada dos valores de emissão de queimadas no modelo.

Mapa 39: As figuras (A), (B), (C) e (D) ilustram as localizações de desmatamento no período de 2007 a 2030 nos Cenários de Referência (REF) e de Baixo Carbono (BC). Também são exibidas as regiões de floresta remanescentes no período (em verde). As figuras (E) e (F) exibem a profundidade óptica do aerossol médio no período de 2007 a 2030 no Cenário de Referência (E) e de Baixo Carbono (F) onde as linhas de corrente representam o campo de vento médio sobre o Brasil



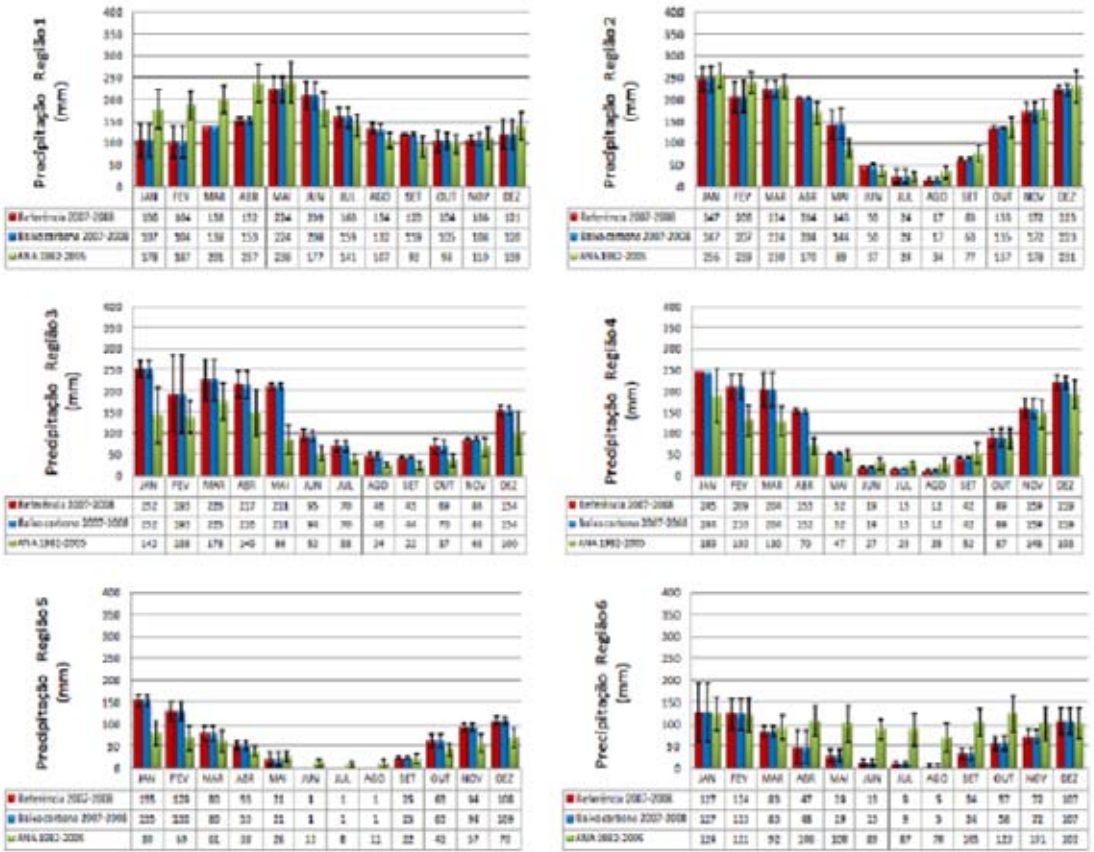
4.9.2 Resultados

Um aspecto a ser ressaltado é que embora os focos de emissão de queimadas sejam principalmente oriundos da região Amazônica, a fumaça emitida pode ser transportada para regiões distantes dos focos de emissão por causa da circulação atmosférica. Nos resultados exibidos pelo modelo CCATT-BTAMS no Mapa 38 pode ser visto o transporte das plumas de queimadas pelos chamados jatos de baixos níveis. Estes jatos possuem uma orientação predominante na direção noroeste para sudeste e são encontrados por volta de 2000 metros de altura. Eles são originados a partir da mudança na trajetória dos ventos alísios ao encontrarem a Cordilheira dos Andes e são responsáveis não só pelo transporte das plumas de queimadas, mas também pela umidade gerada na região Amazônica para as regiões Sul e Sudeste do Brasil. Este aspecto de transporte para regiões distantes motivou a análise dos resultados em diferentes regiões do Brasil. Os limites empregados das respectivas regiões foram os mesmos que os exibidos no Mapa 38. A região 2 cobre boa parte do arco do desmatamento e é responsável pela maior produção de focos de queimadas seguida pela região 1 (lembrando que no Mapa 38 os focos estão normalizados). Embora também existam focos nas outras regiões do Brasil, o impacto nas variáveis meteorológicas se mostrou mais importante devido ao transporte das plumas da região Amazônica para as regiões 4, 5 e 6. A seguir serão apresentados os diferentes impactos na precipitação e temperatura dos Cenários de Referência e Baixo Carbono do estudo.

4.9.2.1 Precipitação

Este tópico discute as diferenças observadas nos valores de precipitação entre o Cenário de Referência e o de Baixo Carbono. Mas antes de discutir estas diferenças, e como uma justificativa para avaliar o desempenho do modelo, a Figura 49 mostra a precipitação média mensal simulada no modelo CCATT-BRAMS nos anos de 2007 e 2008 nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono, em comparação com os dados de precipitação obtidos pela Agência Nacional de Águas (ANA) que correspondem à climatologia realizada no período de 1982 a 2005. O motivo para incluir nesta análise apenas os anos de 2007 e 2008 é que eles são os anos iniciais para os dois cenários, sendo esperado que seus comportamentos não sejam muito diferentes da climatologia. Além disso, as diferenças entre os dois cenários ainda são pouco perceptíveis em relação às emissões por queimadas e mudanças de uso da terra.

Figura 49: Precipitação média mensal nas 6 regiões analisadas nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono nos anos de 2007 a 2008 em comparação com os dados obtidos da Agência Nacional de Águas (ANA) que correspondem à climatologia mensal de precipitação no período de 1982 a 2005. As barras de erro representam o desvio padrão para cada mês



Os resultados mostram que o modelo foi capaz de acompanhar de maneira coerente o comportamento da precipitação observada nas diferentes regiões do Brasil, principalmente no que diz respeito ao comportamento sazonal destas regiões. A exceção ficou com a região 6, onde o modelo tendeu a subestimar a precipitação no meio do ano em comparação com a climatologia da ANA, mas que não impede que o impacto na diferença de precipitação entre os cenários seja analisada e nem sua tendência de variação ao longo dos anos.

Discutindo agora a diferença entre os dois cenários, a Figura 50 mostra o comportamento na precipitação média mensal observada nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono no período de 2007 a 2030 simulados no CCATT-BRAMS.

Figura 50: Precipitação média mensal nas 6 regiões analisadas nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono nos anos de 2007 a 2030 (gráfico de barras eixo esquerdo). Também é mostrada a diferença entre o Cenário de Referência e de Baixo Carbono (gráfico de linha eixo direito)

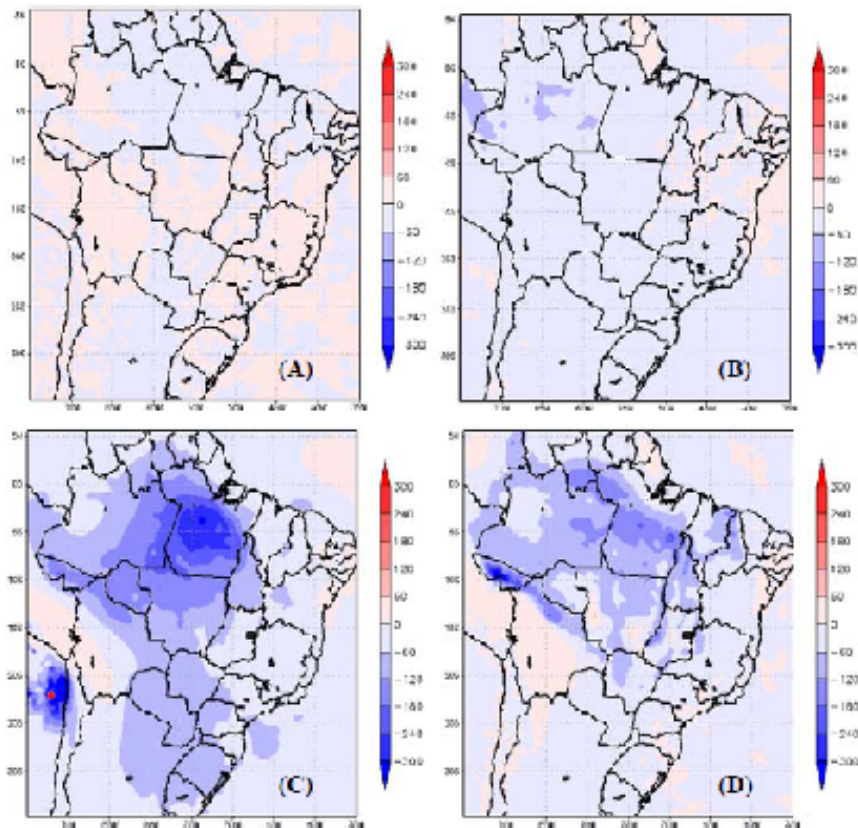


Os resultados sugerem que o impacto na precipitação entre os dois cenários ocorreram principalmente devido ao efeito dos aerossóis sobre a precipitação. Nas 6 regiões analisadas a máxima diferença entre os dois cenários ocorreu nos meses de setembro e outubro, período em que ocorre mais emissão de material particulado devido às queimadas. Nas regiões 1 e 2, que sofrem maior influência destas emissões, este impacto no Cenário de Referência foi de -55 mm de -70 mm em média no período de 2007 a 2030. Particularmente na região 2, fica bem nítido o aumento do período da estação seca no Cenário de Referência. Da mesma forma que na discussão do tópico de 4.2 sobre a radiação líquida, o impacto na precipitação ocorreu também nas outras regiões, principalmente pelo transporte das emissões de queimadas pelos jatos de baixos níveis, apresentando pouco impacto na região 3 situada sobre o nordeste (-11 mm) e um impacto moderado nas regiões 4, 5 e 6 mais ao sul, onde o modelo sugeriu uma diferença de -21, -23 e -23 mm, respectivamente, no mês de outubro.

A diferença entre os dois cenários pode ser vista na Figura 51, que mostra sua distribuição espacial e trimestral média no período de 2007 a 2030. Nota-se que o

impacto é pouco significativo no período de fevereiro a junho, quando as emissões de aerossóis de queimadas são menos intensas. O pico ocorre no trimestre correspondente aos meses de agosto, setembro e outubro, onde o impacto na precipitação no Cenário de Referência chega a ser -200 mm em alguns pontos. Vale lembrar que o Cenário de Baixo Carbono possui mais precipitação por causa da influência dos aerossóis na microfísica de nuvens. Ambientes mais carregados de material particulado (no caso, o Cenário de Referência) dificultam o crescimento das gotículas de nuvem e a precipitação tende a ser menor nestes casos, sendo que este efeito foi parametrizado no modelo CCATT-BRAMS.

Figura 51: Diferença na precipitação (mm) entre o Cenário de Referência e o de Baixo Carbono considerando os anos de 2007 a 2030 nos trimestres de fevereiro, março e abril (A), abril, maio e junho (B), agosto, setembro e outubro (C) e novembro, dezembro e janeiro (D)



4.9.2.2 Temperatura

Este tópico discute as diferenças observadas nos valores de temperatura entre o Cenário de Referência e o de Baixo Carbono. Da mesma forma que no tópico de precipitação, foi realizada uma comparação entre os resultados do modelo e valores de climatologia. A Figura 52 mostra a temperatura média mensal simulada no modelo CCATT-BRAMS nos anos de 2007 e 2008 nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono, em comparação com os dados de temperatura obtidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) que correspondem à climatologia realizada no período de 1977 a 2000. Os resultados mostram que o modelo foi capaz de acompanhar de maneira coerente o comportamento da temperatura observada nas diferentes regiões do Brasil, havendo apenas uma subestimativa na temperatura na região 5 e uma superestimativa na região 6, mas com o comportamento sazonal preservado. Novamente, estes fatos não impedem que o impacto na diferença de temperatura entre os cenários seja analisado e nem a sua tendência de variação ao longo dos anos.

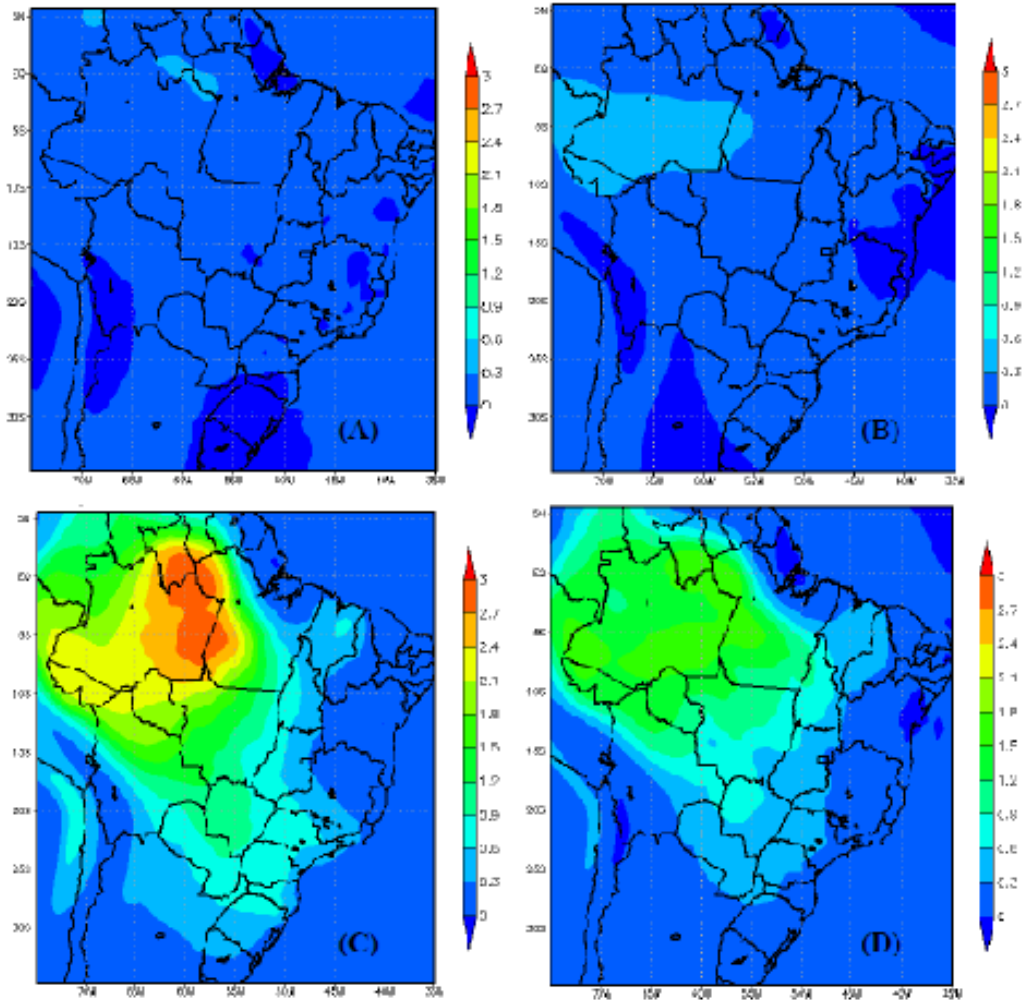
Figura 52: Temperatura média mensal nas 6 regiões analisadas nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono nos anos de 2007 a 2008 em comparação com os dados obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) que correspondem à climatologia mensal de temperatura no período de 1977 a 2000. As barras de erro representam o desvio padrão para cada mês



Analisando agora os resultados em si, quando se compara as temperaturas obtidas entre o Cenário de Referência e o Cenário de Baixo Carbono, uma particularidade aparece. Embora no Cenário de Referência ocorra uma menor penetração de radiação solar devido à maior quantidade de material particulado presente neste cenário, resultando em menor radiação líquida, os resultados mostraram que suas temperaturas foram mais altas do que no Cenário de Baixo Carbono. Este fato ocorreu por causa da modificação da fração do que é emitido em termos de calor latente e de calor sensível pela superfície. Como visto no tópico, o Cenário de Referência possui maior quantidade de energia emitida via calor sensível, fato este que acabou compensando a perda radiativa incidente e que acabou resultando em maiores temperaturas. Em compensação, o Cenário de Baixo Carbono mesmo possuindo maior radiação líquida disponível, possui maior quantidade de energia emitida via calor latente, não envolvendo mudanças de temperatura no processo. Desta forma, suas temperaturas foram menores. Vale relembrar que distinção entre os valores de calor latente e sensível entre os cenários foram modulados principalmente pela diferença na precipitação simulada entre eles.

A Figura 53 mostra a distribuição espacial e trimestral média no período de 2007 a 2030 da diferença de temperatura entre os dois cenários. Da mesma forma que a precipitação, o impacto é menos significativo no período de fevereiro a junho. O pico ocorre no trimestre correspondente aos meses de agosto, setembro e outubro onde a temperatura no Cenário de Referência pode ser quase 3 graus a mais em alguns pontos. As regiões 1, 2 e 3 apresentaram tendência de aumento na temperatura, independentemente do cenário em questão, enquanto as regiões 4, 5 e 6 exibiram pouca tendência nesse sentido. Na região 2, por exemplo, no ano de 2007, no Cenário de Referência o valor de temperatura foi de 27 graus e com o decorrer do período este valor chegou ao redor de 30 graus em 2030. O aumento da temperatura ao longo dos anos nas regiões 1, 2 e 3 é correlacionado com o aumento do calor sensível simulado nestas regiões. Em termos anuais, o Cenário de Referência é da ordem de 1 grau mais alto nas regiões 1 e 2 e de décimos de grau superior nas outras regiões.

Figura 53: Diferença na temperatura (graus Celsius) entre o Cenário de Referência e o de Baixo Carbono considerando os anos de 2007 a 2030 para os trimestres de fevereiro, março e abril (A), abril, maio e junho (B), agosto, setembro e outubro (C) e novembro, dezembro e janeiro (D)



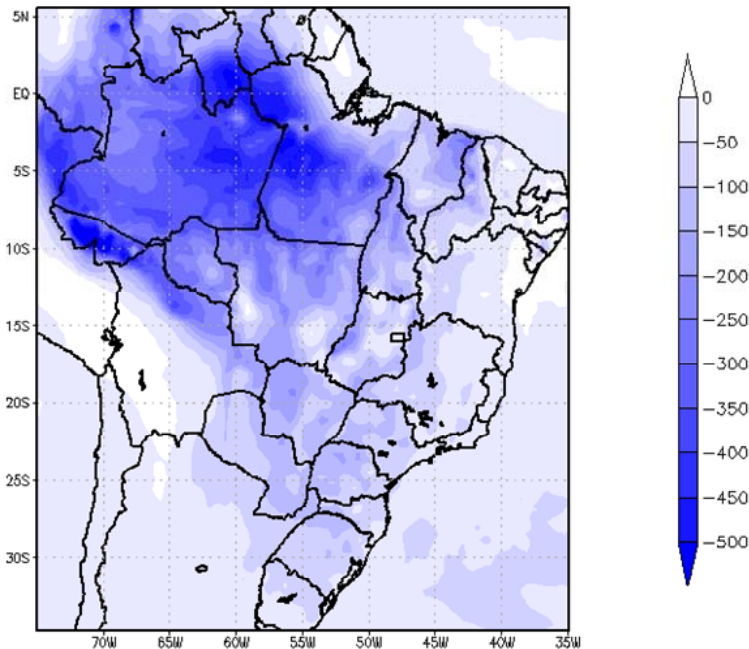
4.9.3 Síntese da redução dos impactos no regime de chuva e temperatura no Cenário de Baixo Carbono

Em síntese, as regiões mais afetadas por queimadas apresentaram tendência de redução na precipitação média anual no período de 2007 a 2030 devido ao gradual aumento nas emissões de material particulado no período. Vale ressaltar que este comportamento ocorreu independentemente do cenário em questão, embora o Cenário de Referência apresente menos precipitação que o de Baixo Carbono. Um exemplo deste comportamento na redução da precipitação ocorreu na região do arco do desmatamento. Enquanto chovia por volta de 1800

mm em 2007 na região, no ano de 2029 este valor chegou a ser próximo de 1200 mm no Cenário de Referência uma redução de aproximadamente 35%. Olhando em termos anuais, a diferença média percentual na precipitação entre os Cenários de Referência e o de Baixo Carbono pode passar dos 30%, sendo que na maioria dos anos entre 2007 e 2030 este percentual ficou por volta de 15 a 20%.

A Figura 54 mostra uma espacialização da diferença de chuva acumulada no trimestre agosto-setembro-outubro, tomada a média entre 2007 e 2030, entre o Cenário de Referência e de Baixo Carbono.

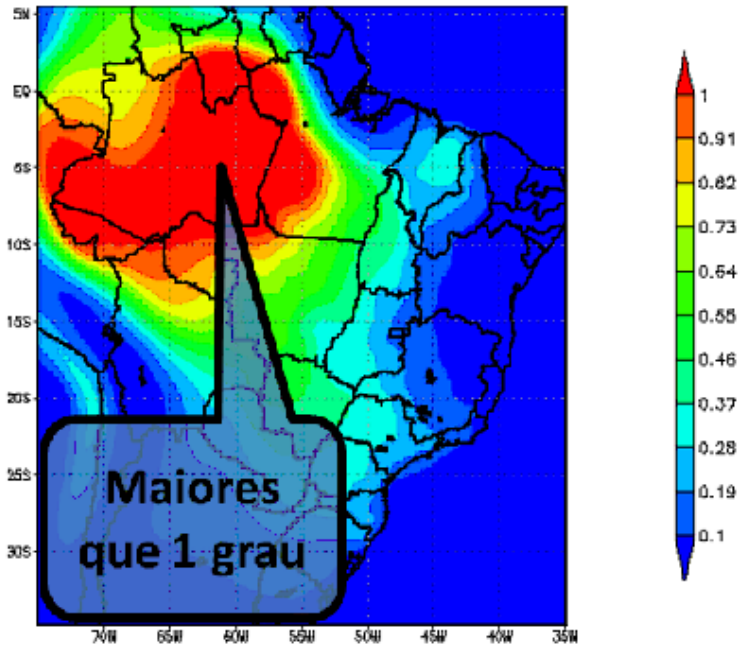
Figura 54: Diferença de chuva acumulada, tomada a média entre 2007 e 2030 entre o Cenário de Referência e de Baixo Carbono. A escala de cores se refere a valores em milímetros de chuva por ano



As regiões mais afetadas por queimadas apresentaram tendência de aumento na temperatura média anual no período de 2007 a 2030, devido ao gradual aumento dos valores de calor sensível correlacionados com a diminuição da precipitação no período. Novamente, este tipo de comportamento foi independente do cenário em questão. Analisando a região do arco do desmatamento, enquanto sua temperatura estava entre 26 e 27 graus em 2007, no ano de 2030 seu valor médio chegou a passar dos 30 graus no Cenário de Referência. Olhando em termos anuais, a diferença média entre os Cenários de Referência e o de Baixo Carbono chega a ser da ordem de 1 grau nas regiões mais afetadas por queimadas e por décimos de graus nas outras regiões.

A Figura 55 mostra uma espacialização da diferença de temperatura no trimestre agosto-setembro-outubro, tomada a média entre 2007 e 2030, entre o Cenário de Referência e de Baixo Carbono.

Figura 55: Diferença de temperatura do ar tomada a média entre 2007 e 2030 entre o Cenário de Referência e de Baixo Carbono. A escala de cores se refere a valores em graus Celsius.



O emprego de um cenário de baixas emissões de material particulado e com menor conversão de áreas verdes para pastagens resultou em um aumento na precipitação média anual de 15 a 30% nos anos entre 2007 e 2030 quando comparados com o Cenário de Referência. Da mesma forma foi observada uma redução na temperatura que pode passar de 1 grau em termos anuais, por causa do menor fluxo de calor sensível.

5 *Análise dos Custos de Transição do Cenário de Referência para o Cenário de Baixo Carbono proposto*

Uma análise econômica do Cenário de Baixo Carbono serve para informar tanto o governo quanto a sociedade dos custos e benefícios econômicos de migrar para uma via de desenvolvimento com menor emissão de carbono. Ela também ajuda a apreciar as condições nas quais as opções propostas de mitigação e remoção de carbono possam ser efetivamente implementadas. Ao mesmo tempo, não existe um método único para a análise dessas opções. Diversas perspectivas podem ser utilizadas para informar uma ampla gama de audiências e agentes sobre as condições econômicas que permitiriam a execução de um Cenário de Baixo Carbono.

Este estudo executou uma análise de custo-benefício que permitiu comparações entre opções individuais no Cenário de Baixo Carbono, assim como entre as opções gerais do Cenário de Baixo Carbono e de Referência.

É importante ressaltar que não é possível realizar uma análise econômica completa e consistente de todas as externalidades em todos os setores. Embora os principais co-benefícios de certas opções de mitigação e remoção de carbono consideradas no Cenário de Baixo Carbono possam ser medidos em termos físicos para a exploração de sua sustentabilidade, o número e diversidade dos setores envolvidos virtualmente impedem uma análise completa das externalidades. Inevitavelmente, para garantir a homogeneidade da análise, é necessário limitá-la a custos e receitas diretos e mensuráveis, omitindo assim importantes co-benefícios, que mesmo assim podem ser cruciais ao processo de tomada de decisão.

É especialmente difícil fazer uma avaliação conjunta das diversas medidas a serem consideradas, uma vez que essas são implementadas em diversos contextos. Algumas estão na esfera da economia pública, e são implementadas pelo governo local ou federal; outras são conduzidas pelo setor privado. Algumas geram receita, outras geram economia, outras ainda geram co-benefícios e externalidades. Algumas têm alto volume de capital com cronograma de amortização para além de 2030, enquanto outras envolvem mudanças de curto prazo em condições operacionais. A avaliação pode variar significativamente, dependendo da perspectiva adotada, do ponto de vista do setor público ou do setor privado. Para fornecer melhores informações aos tomadores de decisão, a equipe do estudo conduziu as análises de custo-benefício usando tanto abordagens sociais quanto de setor privado.

A abordagem social forneceu a base para uma comparação intersetorial da eficiência de custo das 40 opções de mitigação e remoção de carbono consideradas no estudo global nos setores de uso do solo, energia, transporte e resíduos. Foi utilizada uma taxa de desconto social para calcular os Custos Marginais de Abatimento (CMAs). Os CMAs de todas as medidas propostas de mitigação e remoção de carbono foram classificados por valor crescente e plotados em um único gráfico para facilitar uma rápida comparação intersetorial de seus custos e do volume de emissões que poderiam reduzir ou sequestrar. Este gráfico, que reúne as 40 opções dos quatro setores mencionados acima, foi apresentado no relatório principal do estudo multisetorial de baixo carbono para o Brasil.

A abordagem privada avaliou as condições nas quais as medidas propostas poderiam se tornar atraentes para agentes econômicos que decidem entre investir em alternativas de baixo carbono ou nas opções com maior volume de carbono encontradas no Cenário de Referência. A abordagem privada adotada neste estudo estimou o incentivo econômico que os agentes econômicos necessitariam para que a medida de mitigação proposta se tornasse atraente. Se os incentivos fossem providenciados através do mercado financeiro de carbono, a abordagem privada indicaria o preço mínimo do carbono, expressado em US\$ por tCO₂e, necessário para tornar a opção de baixo carbono atraente o suficiente para a implementação. Isso não significa necessariamente que o incentivo econômico correspondente deve ter a forma de receita de carbono através da venda de créditos de carbono; poderiam ser utilizados subsídios de capital para tecnologias de baixo carbono ou uma combinação de incentivos. Condições de financiamento e créditos tributários podem às vezes ser bem mais eficientes na canalização do incentivo correspondente para fazer da opção de baixo carbono a preferida dos desenvolvedores de projetos.

A “Abordagem Social”: cálculo do Custo Marginal de Abatimento

Usando a abordagem social, os custos e benefícios da opção implementada no Cenário de Referência para o período de 2010-30 foram subtraídos ano a ano dos custos e benefícios da opção proposta de baixo carbono implementada para o mesmo período. O valor presente líquido (VPL) de 2009 dos custos e benefícios incrementais anuais foram então calculados para determinar a média ponderada por tCO₂e evitado durante o período, chamada de “Custo Marginal de Abatimento” (CMA). O VPL foi calculado usando uma taxa de desconto social de 8 por cento. Esse foi o valor que o PNE 2030 utilizou para o Plano Nacional de Energia de longo prazo para o Brasil, e geralmente é utilizado para projetos financiados pelo Banco Nacional de Desenvolvimento (BNDES).

Neste estudo, as medidas de mitigação no nível de atividade foram analisadas individualmente. Foram elaboradas então carteiras dessas medidas no nível setorial para construir um Cenário de Baixo Carbono; o potencial associado para cada opção de mitigação foi ajustado para garantir consistência interna no nível setorial e impedir uma contagem duplicada de reduções de emissões.

Uma vez que tomadores de decisão podem ter que escolher entre alternativas bastante diferentes em termos de distribuição de custos e benefícios sobre o tempo, especialmente no que se refere a custos de investimentos, valores atualizados em 2009 foram utilizados para cálculos e comparações (Quadro 4).

Quadro 4: Calculando Custos Marginais de Abatimento

Esse estudo usou uma abordagem de custo incremental para calcular os custos marginais de abatimento. A abordagem pode ser expressada matematicamente pelas Equações 53 e 54:

$$AC_n^{Activity} = \frac{ANC_n^{abatement} - ANC_n^{base}}{AE_n^{abatement} - AE_n^{base}} \quad (53)$$

onde

$AC_n^{Activity}$ = Custo de abatimento de atividade/tecnologia de mitigação de GEE para o ano n

$ANC_n^{abatement}$ = Custo anual líquido da tecnologia de abatimento para o ano n

ANC_n^{base} = Custo anual líquido da tecnologia usada no Cenário de Referência para o ano n

$AE_n^{abatement}$ = Emissão anual de GEE com tecnologia de abatimento para o ano n

AE_n^{base} = Emissão anual de GEE com tecnologia usada no Cenário de Referência para o ano n

$$ANC_n = \frac{INV \cdot r \cdot \frac{(1+r)^t}{(1+r)^t - 1} + AOMC_n + AFC_n - AREV_n}{(1+r)^{-(t-2009)}} \quad (54)$$

Onde

ANC_n = Custo anual líquido da tecnologia de abatimento ou do Cenário de Referência (valores de 2009) para o ano n

INV = Investimento total ou custo capital da tecnologia de abatimento ou do Cenário de Referência

$AOMC$ = Custo anual de operações e manutenção da tecnologia de abatimento ou do Cenário de Referência

AFC = Custo anual de combustíveis da tecnologia de abatimento ou do Cenário de Referência

$AREV$ = Receita anual gerada pela tecnologia de abatimento ou do Cenário de Referência

r = Taxa de desconto

t = Vida útil da tecnologia

n = Ano

Os custos de abatimento calculados dessa forma podem ser diferentes por ano devido à variação dos fluxos de custo-benefício ao longo dos anos. Para uma determinada tecnologia no período do estudo, os custos de abatimento anuais são ponderados com a mitigação de GEE anual correspondente, para calcular o custo de abatimento anual médio. O método utilizado pode ser expressado pela Equação 55:

$$AAAC^{Activity} = \frac{\sum_y AC_y^{Activity} \times MIT_y^{Activity}}{\sum_y MIT_y^{Activity}} \quad (55)$$

onde,

$AAAC^{Activity}$ = Custo de abatimento anual médio da atividade/tecnologia de mitigação de GEE no período de 2010-30

$AC_y^{Activity}$ = Custo de abatimento da atividade/tecnologia de mitigação de GEE no ano n

$MIT_y^{Activity}$ = Mitigação de GEE da atividade/tecnologia no ano n

Para comparação, o estudo também conduziu análises de sensibilidade para taxas de desconto de 4% e de 12%.

Os resultados dos cálculos dos custos marginais de abatimento seguindo uma abordagem social para as opções de mitigação e de remoção de carbono para os quatro setores cobertos pelo estudo geral multisetorial estão apresentados na Tabela 44, abaixo. Os resultados para as opções relacionadas ao uso do solo e mudanças de uso do solo estão apresentados em negrito.

Tabela 44: Potencial de mitigação e custo marginal de abatimento das várias alternativas, com base em três taxas de desconto

Opções de Mitigação e de Remoção de Carbono	% das reduções (2010-30)	Reduções de Emissões (Mt CO ₂) (2010-30)	Custo Marginal de Abatimento (CMA) (US\$/tCO ₂)		
			<i>(por várias taxas de descontos)</i>		
			8%	4%	12%
Iluminação residencial	0.03	3	(120)	(164)	(92)
Cogeração de cana de açúcar	1.4	158	(105)	(219)	(43)
Sistemas de recuperação de vapor	0.3	37	(97)	(157)	(62)
Sistema de recuperação de calor	0.2	19	(92)	(147)	(60)
Iluminação industrial	0.0	1	(65)	(122)	(36)
Energia térmica solar industrial *	0.2	26	(55)	(89)	(35)
Iluminação comercial	0.0	1	(52)	(104)	(27)
Motores elétricos	0.0	2	(50)	(154)	(6)
Otimização da combustão	0.9	105	(44)	(71)	(28)
Refrigeradores (MEPS)	0.1	10	(41)	(151)	5
Reciclagem	0.7	75	(35)	(53)	(24)
Linha de transmissão Brasil-Venezuela	0.2	28	(31)	(32)	(29)
Sistema de recuperação de calor de fomalha	2.5	283	(26)	(49)	(13)
Gás natural substituindo outros combustíveis	0.4	44	(20)	(53)	(4)
Outras medidas de eficiência energética	0.2	18	(14)	(24)	(8)
Etanol substituindo gasolina no mercado doméstico	1.6	176	(8)	(15)	(2)
Energia	0.2	19	(8)	(162)	64
Otimização do trânsito	0.4	45	(2)	(4)	0
Gás para Líquido (GTL)	1.1	128	(2)	(7)	1
Redução do Desmatamento + pecuária	53.5	6,041	(0)	(4)	1
Plantio direto aumentado	3.1	355	(0)	(1)	(0)
Investimento em ciclovias	0.2	1	1	(2)	3
Exportação de etanol substitui a gasolina no exterior	5.9	667	2	(15)	9
Novos processos industriais	1.2	135	2	(53)	26
Destruição de metano em aterro	8.5	963	3	4	2
Aquecimento solar (residencial) *	0.0	3	4	(186)	84
Refinarias existentes (integração energética)	0.5	5	7	(5)	11
Tratamento de águas servidas + destruição de metano (res. e	1.0	116	10	1	8
Novas refinarias	0.5	5	19	2	16
Carvão renovável substit. carvão não renov.	5.0	567	21	1	32
Investimento em ferrovias e hidrovias versus rodovias	0.6	6	29	2	15
Reflorestamento	9.6	1,085	39	3	39
Total (CMA < US\$50)	100	11,294			
Opções de Mitigação com CMA > US\$50/tCO₂ e					
Refinarias existentes (controle de incrustação)		7	73	121	46
Refinarias existentes (controles avançados)		7	95	112	79
Tratamento de águas servidas + destruição de metano (ind.)		238	10	140	80
Investimento em metrô		174	10	100	83
Trem-bala (São Paulo e Rio de Janeiro)		1	40	358	
Total (CMA > US\$50)		438			

Nota: As hipóteses de preços do petróleo são do PNE 2030 (US\$45 por barril, em média), que é baixo em comparação com os preços atuais (US\$70 por barril). Portanto, uma análise de sensibilidade é necessária, principalmente para as opções que substituem petróleo ou gás (por exemplo, substituição da gasolina com o bioetanol) (ver subseção 7.1.4).

* Um CMA positivo para aquecedor solar residencial *versus* CMA negativo para substituição solar-térmico industrial reflete o menor teor de carbono da geração de eletricidade residencial (principalmente hidrelétricas) *versus* o maior teor de carbono da geração de energia industrial (gás, diesel, carvão).

A “Abordagem Privada”: Determinando o Preço de Equilíbrio do Carbono

Para avaliar a possibilidade de se implementar as opções de mitigação e remoção de carbono do ponto de vista do setor privado, a equipe do estudo calculou os incentivos que seriam necessários para as medidas propostas se tornarem atraentes para os agentes econômicos do Brasil. A equipe aplicou um método de duas partes. Em primeiro lugar, estimou a taxa interna de retorno (TIR) mínima – ou TIR de *benchmark* – que os agentes econômicos do Brasil poderiam esperar no subsetor onde a medida de mitigação proposta fosse implementada. Em segundo lugar, ela estimou o incentivo mínimo necessário, expresso na forma de receita adicional média por tCO₂ evitado, que tornaria atraente a possibilidade de mudança da opção de referência para a opção de baixo carbono; ou seja, a TIR resultante, incluindo o incentivo, seria no mínimo igual à TIR de *benchmark*.

Como os níveis de riscos percebidos pelos investidores diferem por tipo de tecnologia, as estratégias dos investidores podem variar de acordo com as condições de mercado observadas em subsetores específicos – e as taxas de retorno necessárias, conseqüentemente, podem ser diferentes, de acordo com as tecnologias.⁶² Para estabelecer essa TIR de *benchmark*, a equipe do estudo consultou diversas instituições no Brasil que financiam projetos nos subsetores considerados, assim como participantes significativos e empresários da área. Embora questões de confidencialidade impedissem que este estudo publicasse informações detalhadas, a consistência dos dados fornecidos deu à equipe do projeto uma percepção da robustez das estimativas estabelecidas dessa forma.

Esses dados foram compilados para se chegar a um consenso sobre as taxas usadas e observadas na prática; mas essas TIRs de *benchmark* continuam sendo indicadores. Ao mesmo tempo, são claramente diferentes da taxa de desconto social utilizada para calcular o CMA e podem mudar de um setor ou subsetor para o outro, confirmando que o CMA apresentado na seção acima não deve ser utilizado como representante para o incentivo de mercado a ser fornecido no nível do projeto.

Espera-se que projetos de mitigação de GEE com TIRs acima das TIRs de *benchmark* atraiam investidores de mercado; por outro lado, projetos com TIRs abaixo das TIRs de *benchmark* provavelmente precisarão de incentivos adicionais, tais como créditos de carbono ou outros mecanismos, para atrair financiamento privado. O nível de tais incentivos é interpretado como o “preço de equilíbrio de carbono” (*break-even carbon price*) porque representa o tamanho do incentivo que igualará os benefícios e custos para atingir a TIR de *benchmark* necessária. Se o preço de equilíbrio de carbono para uma opção de mitigação de GEE for negativo, a implementação dessa medida já é, em

62 É importante perceber que, na prática, certas opções de mitigação propostas são componentes de projetos e não podem ser financiadas separadamente; portanto, para essas opções, foram utilizadas as TIRs dos projetos gerais.

sua maior parte, atraente, e sua TIR, na maioria dos casos, é ainda maior do que a TIR de *benchmark* do setor, não sendo necessário incentivo algum. Entretanto, se o preço de equilíbrio de carbono for positivo, a opção não é atraente e não pode gerar a TIR de *benchmark* necessária sem incentivos.

É interessante notar que, para certas opções de mitigação, o valor do Custo Marginal de Abatimento (CMA), que usa a taxa de desconto social de 8%, foi menor do que zero; mas o preço de equilíbrio de carbono, que usa taxas de desconto do setor privado, tais como a TIR de *benchmark* indicador, foi positivo (ex.: redução do desmatamento). Opções correspondentes, que pareciam economicamente atraentes em uma abordagem social, não são mais atraentes ao se utilizar uma abordagem do setor privado. Outras opções de mitigação, já consideradas caras quando avaliadas com as taxas de desconto social, teriam custos ainda mais altos quando avaliadas do ponto de vista do setor privado.

Tabela 45: Comparação entre os Custos Marginais de Abatimento (calculados com taxa de desconto social de 8%) e os Preços de Equilíbrio de Carbono para Diversas Opções de Mitigação e Remoção (calculados com as taxas de retorno privadas de referência nos Setores)

<i>Opção de Mitigação ou de Remoção</i>	<i>Custo de abatimento (US\$/tCO₂) (8% taxa de desconto social)</i>	<i>Preço de Equilíbrio do Carbono (Break-even Carbon Price) (US\$/tCO₂)</i>	<i>TIR de Referência para o Setor (%)</i>
Opção de Mitigação ou de Remoção			
Iluminação residencial	(120)	(243)	15
Sistemas de recuperação de vapor	(97)	(228)	15
Sistema de recuperação de calor	(92)	(220)	15
Iluminação industrial	(65)	(173)	15
Energia térmica solar	(55)	(123)	15
Otimização da combustão	(44)	(104)	15
Reciclagem	(35)	(91)	15
Sistema de recuperação de calor de fomalha	(26)	(41)	15
Outras medidas de eficiência energética	(14)	(22)	15
Plantio direto aumentado	(0)	0	8
Otimização do trânsito	(2)	4	15
Redução do desmatamento + pecuária	(0)	6	10
Destruição de metano em aterro	3	7	12
Cogeração de cana de açúcar	(105)	8	18
Gás natural substituindo outros combustíveis	(20)	10	15
Reflorestament	39	12	10
Etanol substituindo gasolina no mercado doméstico	(8)	24	15
Investimento em ciclovias	1	25	15
Tratamento de águas servidas + destruição de metano (res. e com.)	10	33	12
Gás para Líquido (GTL)	(2)	34	25
Exportação de etanol substitui a gasolina no	2	48	15
Motores elétricos	(50)	72	15
Refinarias existentes (integração energética)	7	75	15
Energia edíca	(8)	93	10
Carvão renovável substituindo carvão não-renovável	21	95	15
Investimento em ferrovias e hidrovias versus rodovias	29	97	17
Novas refinarias	19	106	15
Iluminação comercial	(52)	122	15
Novos processos industriais	2	174	15
Refinarias existentes (controle de incrustação)	73	209	15
Linha de transmissão Brasil-Venezuela	(31)	216	15
Refrigeradores (MEPS)	(41)	223	15
Tratamento de águas servidas + destruição de metano (ind.)	103	251	12
Investimento em metro	106	371	17
Refinarias existentes (controles avançados)	95	431	15
Aquecimento solar (residencial)	4	698	15
Trem-baia (São Paulo e Rio de Janeiro)	400	7.787	19

Muitas opções de mitigação com CMAs negativos não exigiriam incentivos do ponto de vista do setor privado (ex.: a maioria das opções de conservação de energia na indústria). Essas opções gerariam tamanha economia de energia que a implementação, mesmo do ponto de vista do setor privado, seria considerada uma situação positiva para ambos os lados. Nesses casos, as normas obrigatórias podem ser uma opção para colher frutos tão acessíveis.

Obviamente, nem todas as opções de mitigação seriam trabalhadas somente do ponto de vista do setor privado; de outra forma, incentivos governamentais podem ser oferecidos por outros motivos, além das reduções de emissões de GEE. Mesmo assim, essa perspectiva é válida para demonstrar os melhores destinos para incentivos, ou onde eles são mais necessários, e onde outras ferramentas, como regulamentações e normas, podem ser mais apropriadas do que o financiamento de carbono.

Em teoria, toda medida cujo preço de equilíbrio de carbono fique abaixo do preço de mercado do carbono seria implementada como resultado da ação das forças de mercado. Entretanto, como mencionado acima, o incentivo econômico correspondente não viria necessariamente na forma de receita de carbono através da venda de créditos de carbonos; outros incentivos poderiam ser usados, tais como condições de financiamento ou créditos tributários. Uma estimativa do volume total de incentivos necessários para o período coberto pelo estudo chegaria a US\$ 445 bilhões, ou US\$21 bilhões por ano, em média. Quanto às opções de mitigação no setor de transportes, essas exigiriam o maior valor de incentivos anuais médios, de cerca de US\$9 bilhões, seguidas pelo setor de energia, de US\$7 bilhões e LULUCF, de US\$2,2 bilhões (Tabela 46). Praticamente todas as opções de mitigação exigiriam incentivos financeiros, com exceção das medidas de eficiência energética.

Tabela 46: Volume de incentivos necessários (não descontados) para o período 2010-2030

Setor	Emissões Evitadas (MtCO ₂ e)	Total Incentivos Necessários (US\$MM)	Incentivos Necessários Anuais (US\$MM)
Energia	1.721	142.892	6.804
Transportes	487	185.018	8.810
Resíduos	1.317	70.256	3.346
LULUCF	7.481	46.769	2.227
Total	11.006	444.935	21.187

5.1 Custos da Redução de Emissões do Desmatamento

As duas maiores opções de mitigação e remoção de carbono de emissões identificadas nesse estudo são (i) evitar o desmatamento, estimado em 9,8 GtCO₂e no período de 2010–30 e (ii) remoção de carbono através do restauro de reservas

florestais legais, estimado em cerca de 1,0 GtCO₂e no mesmo período.

As subseções a seguir analisam os custos da transição de um Cenário de Referência LULUCF para o Cenário de Baixo Carbono proposto, para colher o potencial dessas duas grandes medidas de mitigação e remoção.⁶³

Para quantificar os custos envolvidos em evitar o desmatamento, as duas principais medidas foram analisadas em termos de necessidades de investimento e financiamento. As medidas são (Capítulos 2 e 3):

- Melhorar a produtividade pecuária para liberar terras necessárias para outras atividades. Estima-se que essa medida levaria a uma redução de 70 por cento no desmatamento, caindo de uma média anual de 19.500 km² para aproximadamente 4.780 km² por ano (números ligeiramente abaixo da meta governamental de 5.000 km²).
- Preservar florestas. Esse conjunto de medidas complementares visa preservar a floresta onde o desmatamento for ilegal.⁶⁴

5.1.1 *Aperfeiçoando a Produtividade Pecuária*

A produção pecuária é obtida através de duas misturas de quatro categorias de sistemas de produção: dois de baixa produtividade (pasto degradado e extenso) e dois de alta produtividade (confinamento de gado e Integração Lavoura-Pecuária). No Cenário de Referência os pastos degradados e extensos são responsáveis por mais de 90 por cento da terra usada para atividades pecuárias. No Cenário de Baixo Carbono, esses sistemas de baixa produtividade são substituídos gradativamente pelos sistemas de confinamento de gado e lavoura-pecuária mista, até que esses sistemas de alta produtividade alcancem aproximadamente 60 por cento do total da terra necessária para produção pecuária em 2030. A parcela maior de produção de carne nos sistemas de alta produtividade reduziria a necessidade de pasto, resultando em terra liberada para outros usos. Por sua vez, isso reduziria a pressão sobre as florestas, resultando em menores emissões de GEE.

Como discutido no Capítulo 3 (Tabela 35), 70,4 milhões de hectares de terra adicional seriam disponibilizados: 16,8 milhões de hectares para cultivo, florestas de produção e expansão de pasto no Cenário de Referência e 53,4 milhões de hectares para novas atividades de mitigação e remoção de carbono no Cenário de Baixo Carbono (44,3 milhões de hectares para o restauro do passivo ambiental no que diz respeito às reservas florestas legais, 6,4 milhões de hectares para produção adicional de etanol, e 2,7 milhões de hectares para florestas de produção).

Comparados com os sistemas de baixa produtividade, os sistemas de alta

63 Mais detalhes no relatório técnico LULUCF e nos relatórios de consultorias sobre tópicos relacionados.

64 Não seriam computadas nesta análise outras medidas para evitar o desmatamento onde ainda fosse legalmente possível. Entre as medidas atualmente em discussão, tanto no Brasil quanto internacionalmente, incluem-se os incentivos financeiros, às vezes denominados pagamentos por serviços ambientais, oferecidos aos agentes econômicos para compensar os custos de oportunidade do cancelamento dos direitos ao desmatamento.

produtividade exigem volumes significativamente maiores de recursos financeiros para investimento e gastos, e oferecem retorno maior. Em termos de custos de produção no período 2010-30, a recuperação do pasto degradado através da adoção do sistema lavoura-pecuária exigiria um investimento adicional de R\$2.925 por hectare (US\$1.330 por hectare), assim como outros R\$21.300 por hectare (US\$9.682 por hectare) para cobrir os gastos. A adoção do sistema de confinamento de gado no mesmo período exigiria R\$1.144 por hectare (US\$520 por hectare) de investimentos adicionais e R\$4.869 por hectare (US\$2.213 por hectare) para gastos adicionais (Tabela 47).

Tabela 47: Investimento e gastos para sistemas pecuários prototípicos (2009-30)

Sistema de Produção	R\$ bruto por hectare*			R\$ adicional por hectare *		
	Investimento	Gastos	Total	Investimento	Gastos	Total
Pasto degradado	2.124	2.594	4.717	-	-	-
Pasto extenso	2.775	4.644	7.419	651	2.051	2.702
Confinamento do gado	3.267	7.463	10.730	1.144	4.869	6.013
Lavoura-pecuária	5.049	23.894	28.943	2.925	21.300	24.225

* O câmbio é R\$,20 = 1US\$.

Com base nos preços relativos considerados, os sistemas de alta produtividade (confinamento do gado e lavoura-pecuária) geram TIRs dramaticamente mais altas (7,50 por cento e 15,47 por cento, respectivamente) do que aquelas dos sistemas de baixa produtividade (pasto degradado e extenso) (Tabela 48).

Tabela 48: Desempenho econômico e financeiro dos sistemas pecuários prototípicos (2009-30)

Sistema	VPL* (R\$ por hectare)	TIR (%)
Pasto degradado	(1.857,84)	NC**
Pasto extenso	(1.128,76)	0,56
Confinamento do gado	(95,19)	7,50
Lavoura-pecuária	1.953,46	15,47

* Baseado em uma taxa de desconto social de 8 por cento

** NC = valor suficientemente negativo não-calculável.

Como resultado, a economia dos Cenários de Referência e de Baixo Carbono é bastante diferente. O custo por hectare no Cenário de Baixo Carbono é de R\$10.600,00 muito mais alto do que o do Cenário de Referência. No período de 2010-30, a diferença de custo por hectare ficaria em média em R\$3.139,00 (Tabela 49).

Tabela 49: Investimentos e gastos nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono

Cenário	Gasto total de investimento (R\$ bruto por hectare)			Gasto total de investimento (R\$ adicional por hectare)		
	Referência	2.688	5.020	7.708	2.688	5.020
Baixo Carbono	2.996	7.849	10.845	308	2.829	3.137

Fonte: EMBRAPA

O desempenho econômico do setor de pecuária é bem melhor no Cenário de Baixo Carbono do que no Cenário de Referência. Utilizando uma taxa de desconto social de 8 por cento, o VPL geral do investimento e os fluxos de caixa correspondentes do Cenário de Referência no período de 2010-30 resultam em R\$18 bilhões (US\$8 bilhões). Em comparação, o valor presente líquido do Cenário de Baixo Carbono resulta em R\$14 bilhões (US\$6.5 bilhões). Comparado com o Cenário de Referência a TIR média para o setor de pecuária no Cenário de Baixo Carbono aumenta de um valor negativo ⁶⁵ para 11,24 por cento (Tabela 50). É importante observar que o VPL e a TIR calculados aqui referem-se simplesmente aos novos investimentos feitos a partir de 2010 em ambos os cenários. Não foram considerados nem os investimentos realizados antes dessa data, nem as despesas e receitas relacionadas.

Tabela 50: Desempenho econômico e financeiro comparativo do setor de pecuária

Cenário	VPL (2010-30) (R\$ bilhões)	TIR (%)
Referência	(17,782)	NC*
Baixo Carbono	14,335	11,24

*NC = valor suficientemente negativo não-calculável.

Essas diferenças em economia são acompanhadas por diferenças no desempenho ambiental: o Cenário de Baixo Carbono para LULUCF não exige terras adicionais para uso de terra, e portanto não contribui para o desmatamento, e por sua vez, suas emissões associadas de GEE.

5.1.2 Proteção Florestal

Embora o Cenário de Baixo Carbono para uso de terra ofereça soluções para levar a virtualmente zero a necessidade por terra adicional, espera-se que sejam necessárias medidas complementares de proteção florestal, por dois grandes motivos. Em primeiro lugar, o limite legal para desmatamento (até 20 por cento das

⁶⁵ A apropriação ilegal de terras para fins especulativos pode explicar a razão pela qual uma atividade aparentemente não atraente do ponto de vista econômico continue a acontecer. A questão do título da terra, que o programa “Terra Legal” visa abordar, não coube dentro do escopo deste estudo.

propriedades localizadas na região Amazônica) ainda não foi alcançado. Assim, nos lugares onde a dinâmica complexa de desmatamento for motivada pelo valor financeiro da madeira ou da terra limpa (junto com a necessidade de terra para cultivo, pasto, e plantações de produção), o desmatamento continuaria. Em segundo lugar, pode haver uma demora significativa entre o tempo de redução de demanda por terras para cultivo, pasto ou florestas de produção e o tempo em que será possível observar efetivamente uma mudança comportamental entre os agentes de desmatamento na fronteira (ou seja, eles podem continuar a especular sobre a demanda que já secou rio acima na cadeia de mercado de terra).

Assim, o Cenário de Baixo Carbono propõe implementar medidas adicionais de proteção florestal em áreas de mata onde o desmatamento for ilegal. Considerando os vários programas em andamento e a ampla literatura disponível sobre esse tópico, incluindo o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAM), este estudo limitou-se a analisar as propostas existentes (Capítulo 3).

Apresentamos aqui, em ordem de magnitude, os resultados de uma análise preliminar dos custos adicionais que podem advir da necessidade de atividades adicionais de proteção florestal. Eles visam garantir que o potencial pleno de redução de desmatamento seja alcançado através da liberação de terra de pasto e ganhos de produtividade pecuária, como proposto no Cenário de Baixo Carbono.

Para analisar os custos e gastos de investimento para o manejo e a aplicação da proteção das unidades de conservação onde o desmatamento é ilegal, o estudo utilizou a ferramenta de Investimento Mínimo de Conservação (IMC), desenvolvida pelo Grupo de Trabalho sobre a Sustentabilidade Financeira do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), criado pelo Ministério do Meio Ambiente.⁶⁶ Usando a ferramenta IMC, o estudo avaliou os custos associados às quatro atividades de proteção ao longo do período de 2010 a 2030: (i) proteção das reservas indígenas, (ii) proteção das unidades de conservação, (iii) controle ao longo da malha rodoviária e (iv) monitoramento por sensoriamento remoto. Essas atividades têm o objetivo de evitar a intrusão e o desmatamento dessas áreas, bem como proibir o transporte de produtos oriundos do desmatamento ilegal. Durante o período, os custos da proteção deverão totalizar US\$24 bilhões, ou US\$1,14 bilhão por ano, em média (Tabela 51).

66 A ferramenta IMC (Investimento Mínimo de Conservação) baseia-se no módulo financeiro do Sistema Mínimo de Conservação (*Minimum Conservation System - MICOSYS*), desenvolvido por D. Vreugdenhill; ver D. Vreugdenhill, "MICOSYS, Application Honduras 'National Parks Model', Planilha de Avaliação em MS Excel, preparada para o PPROBAP, Projeto COHDEFOR/PNUD/Banco Mundial/GEF (2002).

Tabela 51: Projeção dos custos da proteção das florestas nas áreas onde o desmatamento é ilegal (em milhões de US\$)

Ano	Unidades de Conservação		Reservas Indígenas		Controle da Malha Rodoviária		Monitoramento por Sensoriamento Remoto	Custo Anual Total
	Investimento	Despesa	Investimento	Despesa	Investimento	Despesa		
2010	516	430	1.680	372	112	93	1	3.205
2011	0	430	43	381	0	93	1	949
2012	0	430	43	391	0	93	1	958
2013	0	430	43	400	0	93	1	968
2014	0	430	43	410	0	93	1	977
2015	0	430	43	419	0	93	1	987
2016	0	430	43	429	0	93	1	996
2017	0	430	43	438	0	93	1	1.006
2018	0	430	43	448	0	93	1	1.015
2019	0	430	43	457	0	93	1	1.025
2020	0	430	43	467	0	93	1	1.034
2021	0	430	43	476	0	93	1	1.044
2022	0	430	43	486	0	93	1	1.053
2023	0	430	43	495	0	93	1	1.063
2024	0	430	43	505	0	93	1	1.072
2025	0	430	43	514	0	93	1	1.082
2026	0	430	43	523	0	93	1	1.091
2027	0	430	43	533	0	93	1	1.101
2028	0	430	43	542	0	93	1	1.110
2029	0	430	43	552	0	93	1	1.120
2030	0	430	43	561	0	93	1	1.129
Total	516	9.035	2.539	9.797	112	1.963	21	23.983

É preciso enfatizar que as opções de mitigação consideradas de acordo com o Cenário de Baixo Carbono não incluem medidas adicionais para evitar o desmatamento nas áreas em que este ainda é legalmente permitido. A elaboração e a quantificação dessas propostas estavam além do escopo que poderia ser realizado como parte do presente estudo. Caso fossem acrescentadas essas medidas adicionais, como, por exemplo, pagamentos para compensar proprietários de terras pelo cancelamento de seus direitos ao desmatamento, teriam que ser integrados à conta analisada outros custos e benefícios, o que muito provavelmente resultaria em custos marginais de abatimento mais altos.

Calculando o Custo Marginal de Abatimento do Ponto de Vista Social

São necessários três cálculos para determinar o CMA. O primeiro cálculo é o custo incremental ano-após-ano do Cenário de Baixo Carbono para a pecuária em relação ao Cenário de Referência (diferencial anual entre os resultados líquidos dos dois cenários). Em seguida, os custos incrementais para cada ano são calculados em valores atualizados para 2009, usando uma taxa de desconto social de 8 por cento. Finalmente, é calculada a média ponderada do volume de redução de emissões (do desmatamento).

Como já foi mencionado, a proporção dos sistemas de mais alta produtividade é maior no Cenário de Baixo Carbono do que no Cenário de Referência o que resulta em um VPL positivo dos resultados incrementais de R\$14,3 bilhões, versus um VPL de R\$18 bilhões no Cenário de Referência. A TIR geral para o Cenário de Baixo Carbono é de 11,24 por cento, calculada com base nos custos incrementais da implementação e expansão dos sistemas de alta produtividade (com maiores custos) e os retornos relacionados a eles.

O resultado do cálculo indica um custo marginal negativo de US\$2,5 por tCO₂ evitado. Isso sugere que a adoção de sistemas mais produtivos, *versus* sistemas existentes e predominantes de pastos extensos e degradados, deveria produzir ganhos econômicos para o setor da carne, além de mitigar os GEEs. Enquanto os ganhos de produtividade projetados no Cenário de Baixo Carbono quase certamente teriam resultados econômicos positivos, essa análise inicial de um “ponto de vista social” pode ser enganosa para aqueles que desejam descobrir os custos reais de fazer com que os criadores de gado adotem sistemas mais produtivos. Na realidade, as conclusões são extremamente diferentes quando percebidas através de um ponto de vista do setor privado, como demonstrado pelos resultados preliminares a seguir, relativos ao preço de equilíbrio do carbono (seção 7.1.3.a.iv). Quando são incluídos os custos da proteção das florestas no período de 2010-2030 – US\$24 bilhões – o CMA sobe para -US\$0,48 por tCO₂ evitada.

Calculando o Preço de Equilíbrio do Carbono do Ponto de Vista do Setor Privado

Fazer a transição de sistemas predominantes de baixa produtividade, especificamente para sistemas de confinamento de gado e de lavoura-pecuária, exigiriam altos níveis de investimentos e operações, além de gastos de manutenção de mais de US\$430 bilhões no período de 2010-30 ou de US\$22 bilhões por ano. Embora o Cenário de Baixo Carbono resulte em uma TIR de 11,24 por cento, somente os sistemas de produção – especialmente o sistema de confinamento de gado, com uma TIR de 7,5 por cento – podem não trazer remuneração suficiente para que sejam implementados em escala significativa em um primeiro momento.

Assim, no caso da produção pecuária, seria especialmente importante complementar uma análise econômica do ponto de vista social (ex.: taxa de desconto social) com uma análise do ponto de vista do setor privado. A principal justificativa é a seguinte: enquanto o ponto de vista social não oscila entre o Cenário de Referência e o Cenário de Baixo Carbono, o ponto de vista do setor privado muda dramaticamente

porque o setor pecuário do Brasil tem acesso limitado a financiamento bancário e depende muito de seus próprios recursos capitais para investir em tecnologias relacionadas à pecuária. A produtividade de sistemas pecuários mais tradicionais, que frequentemente produzem retornos de apenas 0,5 por cento ou menos, geralmente é insuficiente para custear o crédito bancário.

Promover a transição de sistemas de produtividade mais baixa para sistemas de produtividade mais alta poderia contribuir para aumentar a taxa de retorno para esses negócios. Entretanto, a adoção de sistemas de alta produtividade pressupõe investimentos substancialmente maiores, que exigem acesso ao crédito bancário. Assim sendo, a taxa de retorno para esses negócios deve ser, no mínimo, igual ao custo de crédito mais o lucro esperado, para oferecer incentivos adequados aos criadores de gado. Assim, as TIRs têm que ser muito maiores no Cenário de Baixo Carbono do que no Cenário de Referência.

A soma total da taxa de retorno esperada, mais custos de financiamento (ex.: a taxa de juros de longo prazo [TJLP] + porcentagem de spread ~ 10 por cento +) geralmente é maior do que as taxas de retorno que certos modos produtivos recomendados para o Cenário de Baixo Carbono podem alcançar (ex.: cerca de 0,56 por cento para sistemas extensos, 7,5 por cento para sistemas de confinamento de gado, e 4,5 por cento em média para o Cenário de Baixo Carbono).

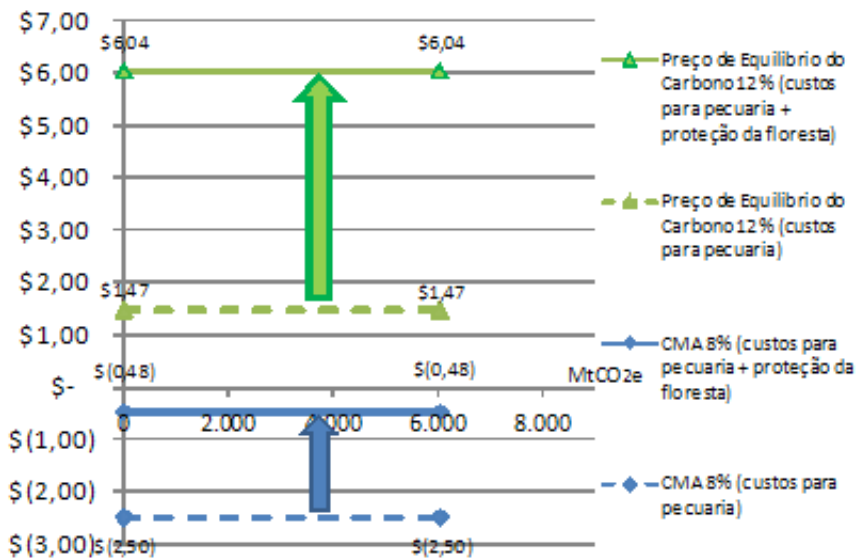
A abordagem social não explica por que sistemas de alta produtividade precisariam de incentivos substanciais para operar, enquanto sistemas produtores tradicionais, que produzem um lucro menor, tenderiam a se expandir por conta própria. O que à primeira vista parece uma situação boa para ambos os lados – menos terra necessária, portanto, menor pressão para desmatar florestas e expandir a fronteira agricultora por um lado, e um desempenho biológico e econômico melhor para o criador de gado por outro lado – pode não ser uma imagem precisa.

Em resumo, as TIRs esperadas ou as taxas de desconto privado relacionadas à criação de gado no Cenário de Referência são baixos (perto de 0,5 por cento), enquanto aquelas consideradas no Cenário de Baixo Carbono são significativamente maiores (pelo menos 10-12 por cento). Se empréstimos bancários, que se beneficiam de juros mais baixos (ex.: Banco da Amazônia [5-8,5 por cento] ou BNDES [5,75-6,75 por cento]), são necessários apenas para financiar parte da soma total necessária, pode-se considerar que, no Cenário de Baixo Carbono, o produtor teria que alcançar uma TIR média de pelo menos 10 por cento, que é um valor bastante conservador. Este estudo usou essa TIR de benchmark para produzir uma estimativa inicial dos incentivos de que um Cenário de Baixo Carbono precisaria para gerar ganhos substanciais de produtividade no setor pecuário, resultando na liberação da terra de pasto necessária para acomodar as atividades alternativas crescentes sem induzir pressão nas florestas. Deve-se ressaltar que este estudo é uma primeira tentativa de se medir o nível de incentivos necessários. Para lidar mais a fundo com a questão, claramente são necessários maiores estudos.

Para calcular o preço de equilíbrio do carbono, os únicos custos incrementais considerados foram aqueles associados com a implementação e expansão dos sistemas de alta produtividade. Considerando que o sistema de confinamento de gado tem uma TIR de 7,5 por cento, que é menor do que a TIR de benchmark utilizada neste estudo

(12 por cento), o incentivo de equilíbrio de carbono necessário foi calculado para garantir que esse sistema alcançaria uma TIR igual à taxa de *benchmark*. O cálculo indica que esse incentivo deveria ser de aproximadamente US\$1,47 por tCO₂e, ou de aproximadamente US\$9 bilhões no período de 2010-2030, para evitar 6 GtCO₂e e garantir uma TIR de 12 por cento. Quando os custos da proteção das florestas no mesmo período são levados em consideração – US\$24 bilhões – o incentivo para implementar a estratégia geral para reduzir o desmatamento em cerca de 80 por cento em relação às taxas históricas observadas sobe para US\$6 por tCO₂e ou US\$36,5 bilhões para evitar 6 GtCO₂e (Figura 56). Se adotarmos uma TIR mais alta, de 15%, os incentivos de equilíbrio de carbono seriam de US\$1,88 e US\$6,64, incluindo os custos de proteção florestal.

Figura 56: Custo Marginal de Abatimento (taxa de desconto social de 8 por cento) e Preço de Equilíbrio do Carbono (considerando uma TIR de 12%) para Medidas para Evitar o Desmatamento



Exigências de Financiamento

Para implementar os sistemas de alta produtividade de produção pecuária no Cenário de Baixo Carbono, o financiamento necessário de investimentos, operações e manutenção alcançaria um total de R\$946 bilhões (US\$430 bilhões) no período de 2010–30, com investimentos representando aproximadamente 30 por cento dos gastos totais, ou cerca de US\$21,5 bilhões por ano (Tabela 51). No Cenário de Referência seria necessária uma quantia menor, uma vez que esses sistemas de alta produtividade devem se expandir nesse cenário, embora em escala bem mais limitada. A liberação de mais 70,9 milhões de hectares no Cenário de Baixo Carbono exigiria mais R\$720 bilhões (US\$327 bilhões) no financiamento de sistemas de alta produtividade. Isso representaria cerca de US\$16 bilhões em custos anuais adicionais, equivalentes a 72 por cento do valor bruto da produção de carne em 2008.⁶⁷ Como ponto de referência,

67 O valor bruto da produção de carne em 2008 (baseado nos números para abril de 2008 pelo IGP-DI) foi estimado pela Confederação Brasileira de Agricultura e Pecuária (CNA) em [R\\$49,59](#) bilhões (veja *Indicadores rurais XI* (90 [Set.-Out.]):6).

o financiamento do governo brasileiro para o setor, em 2007, foi de US\$3 bilhões, ou aproximadamente 10 por cento do investimento anual estimado exigido pelo Cenário de Referência em 2010 (US\$32,5 bilhões).

As exigências de financiamento seriam significativamente menores se o Cenário de Baixo Carbono não incorporasse medidas de mitigação e remoção de carbono que exigem terras adicionais além da expansão da terra de agricultura no Cenário de Referência (remoção de carbono de floresta legal, etanol para consumo nacional aumentado e para exportação, e florestas de produção para a indústria de ferro e aço). No Cenário de Referência a terra adicional para produção de agricultura e pecuária é de 16,8 milhões de hectares, menos de um terço do volume total de terra liberado no Cenário de Baixo Carbono (através de sistemas de alta produtividade de produção pecuária para acomodar tanto a expansão do plantio quanto todas as medidas consideradas) (Tabela 52). Sem as atividades adicionais de mitigação e remoção de carbono, o financiamento necessário no Cenário de Baixo Carbono para que a produção pecuária melhorada libere terras para expansão do plantio chegaria a US\$238 bilhões – US\$108 bilhões a mais do que no Cenário de Referência – e US\$262 bilhões quando se acrescentam os custos estimados da proteção florestal.

Tabela 52: Investimentos e Gastos do Setor Pecuário para Liberar Terra e Absorver Terras Adicionais Necessárias nos Cenários de Referência e de Baixo Carbono (2010-30)

<i>Cenário</i>	<i>Área de Pasto liberada (milhões de hectares)</i>	<i>Investimentos cumulativos em sistemas de confinamento de gado e lavoura-pecuária (bilhões de R\$)</i>	<i>Gastos cumulativos em sistemas de confinamento de gado e lavoura-pecuária (bilhões de R\$)</i>	<i>Investimento total em sistemas de confinamento de gado e lavoura-pecuária (bilhões de R\$)</i>
Referência	0	92,075	134,351	226,426
Referência (remoção da terra adicional necessária)	16,8*	107,699	356,397	464,095
Baixo carbono	70,4**	225,322	721,124	946,446

* Terras adicionais necessárias para a expansão de plantio, pasto e florestas.

** Remoção da terra adicional necessária para a expansão de plantio, pasto e florestas no Cenário de Referência, além da terra necessária para as opções propostas de mitigação e remoção de carbono no Cenário de Baixo Carbono.

5.2 *Restauração Florestal: Reservas Florestais Legais*

Custo

As medidas de financiamento e linhas de crédito disponíveis para a recomposição do passivo de vegetação nativa de propriedades rurais já foram delineadas anteriormente (item 3.3.2). Obviamente existem necessidades adicionais de financiamento para atingir o cenário da legalidade, mas essa não é uma barreira essencial no momento, pois as linhas de crédito disponíveis para a restauração florestal atualmente são subutilizadas, devido às outras barreiras citadas abaixo, sendo a principal a perda de área produtiva na propriedade rural.

239

Implicações (ganhadores e perdedores)

No cenário da legalidade, a restauração florestal das áreas legalmente protegidas significa o deslocamento de culturas agrícolas e atividades de pecuária que atualmente compõem o uso do solo nessas áreas de impedimento. Desta forma, apesar do cumprimento do cenário da legalidade implicar em diversos benefícios para o clima local, regional e global, para a conservação da biodiversidade e a recuperação da qualidade dos serviços ambientais, dentre os quais o ciclo hidrológico, é esperada uma maior competição por terra pelas culturas agrícolas, elevando o custo de oportunidade da terra e possivelmente causando um aumento de preços nos alimentos.

Custos de restauração florestal podem ser divididos nos seguintes componentes, que incluem um componente de custo de trabalho:

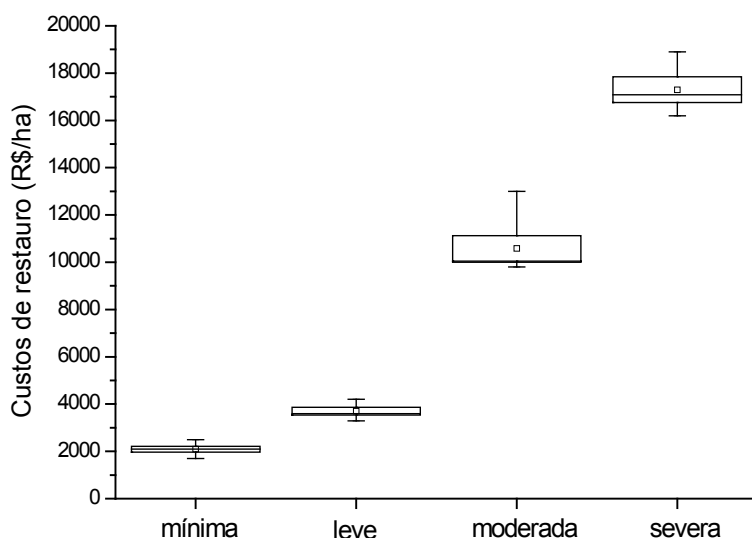
1. Custos de isolamento: corresponde à construção de cercas, podendo variar de 1,5 a 2 mil reais por hectare
2. Custos de preparação do solo: correspondem à aragem, adubação, eliminação de ervas invasoras e formigas cortadeiras e abertura de covas para o plantio de mudas. Custos variam de 1 a 5 mil reais por hectare
3. Custos de plantio: compreendem às mudas e ao plantio em si. Custos variam de 1,2 a 2,3 mil reais por hectare
4. Custos de manutenção: se referem à manutenção do restauro, onde periodicamente as ervas invasoras e as formigas têm que ser combatidas, além da realização, se necessário, de adubação de cobertura. Os custos de manutenção podem chegar a ter uma participação de 50% no custo total.

Os custos finais por hectare variam em função do grau de degradação do ambiente e dos níveis de intervenção necessários para restabelecer a cobertura vegetal, sendo divididos em 4 cenários (Figura 57):

1. Intervenção mínima: nesse cenário a área a ser restaurada apresenta um elevado potencial de regeneração natural, necessitando apenas ser isolada para o restabelecimento da cobertura vegetal natural
2. Intervenção leve: nessa situação é necessário, além do isolamento da área, um plantio de sementes das espécies de árvores que farão parte do restauro florestal

3. Intervenção moderada: nesse cenário o solo se mostra bem compactado devido a anos de pisoteio do gado, além de completamente colonizado por gramíneas. A intervenção necessária nesse cenário já envolve os custos relacionados ao isolamento, combate às ervas invasoras e formigas e preparo do solo, além do plantio ativo de mudas arbóreas. O terreno seria inteiramente mecanizável, o que contribui para não elevar excessivamente os custos
4. Intervenção severa: além das condições citas anteriormente, o solo se encontra extremamente degradado e erodido, sem possibilidade de mecanização. Corresponde ao pior cenário de degradação ecológica, e que tende a continuar em um estado de baixo carbono indefinidamente.

Figura 57: Variação dos custos de restauro florestal em relação ao grau de intervenção necessária na área



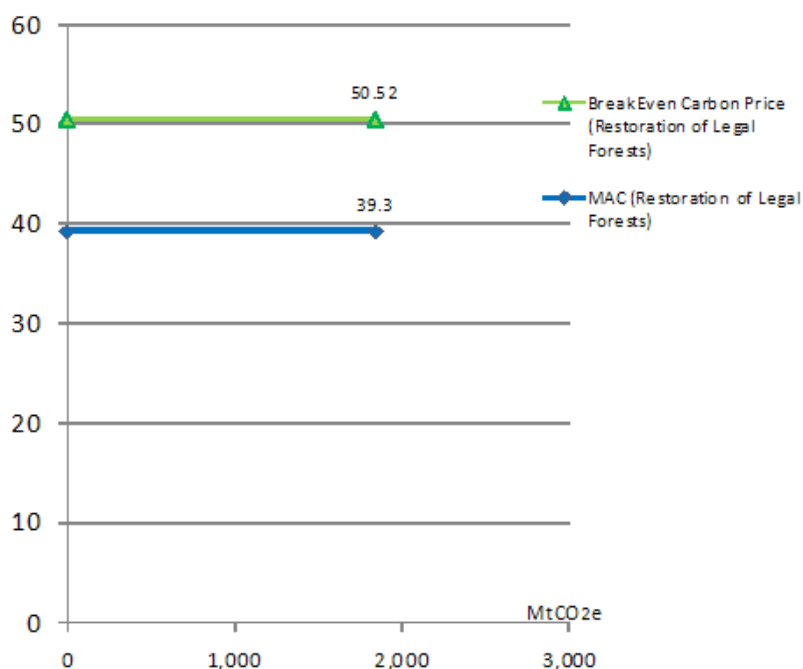
Entretanto, vale ressaltar que esses custos podem apresentar alguma variação, devida principalmente aos valores de mão-de-obra rural, custos de utilização de máquinas e de alguns insumos, que costumam variar mesmo dentro de uma mesma unidade federativa. Os valores sumarizados na Figura 57, acima, são médias coletadas de diversos orçamentos de restauro florestal e alguns artigos da literatura especializada.

No cenário da legalidade, devido à impossibilidade de espacialização geográfica dos custos de restauro florestal, os custos de abatimento e investimento foram simulados levando em consideração um cenário de intervenção moderada, e a taxa de remoções de carbono por restauro florestal considerada foi uma média de absorção para os biomas do Cerrado e da Mata Atlântica, consistindo em uma remoção de 98,3 tCO₂/ha em 2030.

Neste cenário (legalidade) não foi calculado o custo incremental, e sim o custo de restauro florestal, pois o cenário da legalidade pressupõe que atividades econômicas não poderiam estar ocorrendo nessas áreas. Desta forma, o custo marginal médio seria de US\$ 41,68/tCO₂, enquanto o nível de incentivo esperado (*break-even carbon price*) seria de US\$ 50,52/tCO₂.

Considerando que o volume total de restauro florestal seria de 44 Mha, na base do custo marginal indicado acima, o custo total não descontado seria de U\$1.84 bilhões ao longo do período considerado, ou seja uma média de U\$92 milhões por ano.

Figura 58: CMA e preço de equilíbrio de carbono para remoção de CO₂ através do restauro de florestal legal



Considerando que o volume total de restauro florestal seria de 44 milhões de hectares, o custo total não descontado, baseado no custo marginal mencionado acima, seria de US\$54 bilhões no período de 2010-30. O custo anual médio para financiamento no período seria de US\$2,7 bilhões.

5.3 Carvão renovável

Os impactos no uso da terra: a área necessária e a hipótese de correlação com o desmatamento

Dois principais aspectos em relação aos impactos da implementação do Cenário de Baixo Carbono no uso do solo foram levados em consideração nesta seção: (i) a disponibilidade de terras agricultáveis e (ii) os possíveis impactos em relação a práticas

de desmatamento, atribuíveis a uma potencial demanda adicional por conversão de áreas com florestas nativas para áreas de plantio florestal.

A necessidade de terra para a implementação do Cenário de Baixo Carbono foi estimada em uma faixa que variou de 3,32 a 3,66 milhões de hectares, dependendo de diferentes níveis de produtividade⁶⁸. Esse valor representa aproximadamente 0,35% do território nacional. Mesmo quando o maior valor da faixa é agregado à demanda adicional por terra pelos demais setores da agropecuária, chega-se à conclusão de que toda a demanda por terra poderia ser suprida pelo aproveitamento de áreas atualmente ocupadas por pastagens em diversos estágios, o que indica que a demanda por terra para suprir a siderurgia brasileira com carvão vegetal renovável não requer conversão de áreas ocupadas por florestas nativas em áreas de produção⁶⁹.

Custo marginal de abatimento

Considerando uma taxa de desconto de 8% ao ano, o custo marginal de abatimento consolidado referente à utilização de carvão vegetal renovável em vez de carvão mineral ou do carvão vegetal não-renovável, foi estimado em aproximadamente US\$ 9,00/ tCO₂⁷⁰. Quando uma taxa de desconto de 15% é adotada, o custo marginal de abatimento consolidado fica em média em US\$27,14 / tCO₂ (Tabela 53).⁷¹

Tabela 53: Custo Marginal de Abatimento (carvão vegetal renovável)

Medida de Mitigação	Taxa de Desconto (ao ano)	Custo Marginal de Abatimento US\$ / tCO ₂
<i>Uso adicional de carvão vegetal renovável (em vez de carvão vegetal não-renovável ou de carvão mineral)</i>	8%	8,95
	15%	27,14 ¹

Fonte: Adaptação dos dados apresentados no relatório sobre emissões do setor industrial.

Como ressaltado anteriormente, essa medida de mitigação demanda investimentos tanto na parte florestal (novas florestas plantadas) como na parte industrial (processos de carbonização e de termo-redução em altos fornos). No entanto, a principal diferença entre custos e investimentos necessários para a consecução do Cenário de Baixo Carbono se refere ao estabelecimento, manutenção e colheita de quantidades adicionais de florestas plantadas

68 Para ver detalhes sobre os métodos de cálculo e as razões para esta variação, favor ver a parte do relatório relativa ao uso da terra (LULUCF) do estudo.

69 Ibid

70 Segundo estimativas do INT, as estimativas específicas para o uso evitado de carvão vegetal não-renovável e carvão mineral ficaram praticamente iguais, respectivamente: US\$8,9 / tCO₂ e US\$9,0 / tCO₂.

71 Considerando a taxa de desconto de 15% ao ano, o INT estima que o custo marginal de abatimento da substituição de biomassa não-renovável fique em US\$19,53 / tCO₂ e de carvão mineral em US\$34,75 / tCO₂. No entanto, à luz dos dois subcenários de referência apresentados para o carvão, optou-se por adotar uma média de US\$27,14 / tCO₂ neste relatório consolidado, considerando a natureza integrada dessa alternativa de mitigação e que os valores isolados dependem do nível de restrições legais.

No caso da possível substituição de carvão vegetal não-renovável, por definição, o custo marginal de abatimento é, no mínimo, proporcional ao investimento em plantios florestais ao longo de 7 anos, já que esse investimento não ocorre quando se usa carvão vegetal não-renovável, proveniente de desmatamento. Na parte industrial, são necessários investimentos adicionais nas etapas de carvoejamento e na ampliação do parque de altos-fornos para a produção de ferro-gusa a carvão vegetal renovável. Esse aporte financeiro se situa ligeiramente acima dos investimentos necessários para a ampliação da produção de gusa através do carvão mineral⁷². Os principais resultados econômicos em relação a essa alternativa de mitigação são apresentados de maneira consolidada na Tabela 54.

Tabela 54: Quadro resumo dos parâmetros econômicos para o período 2010-2030

	Investimento Total (VP) (US\$ milhões)	Número de Anos de Investimento	Receita Líquida (milhões US\$)	Taxa Interna de Retorno (%)	Emissões Evitadas Totais (milhões toneladas CO ₂)	Custo de Abatimento (Potencial Ajustado) (US\$/tCO ₂) (taxa 8% a.a.)
Uso adicional de carvão vegetal renovável em vez de carvão mineral ou de carvão vegetal não-renovável)	4.245,44	1 ciclo de 21 anos	-2.678,28	Não há	385,07	9,0

Fonte: Adaptação do relatório sobre emissões do setor industrial.

Para a implementação do Cenário de Baixo Carbono, estima-se que o investimento total necessário atinja cerca de US\$ 4,245 bilhões (em valor presente), conforme os cálculos apresentados no relatório sobre emissões do setor industrial (tema de outro Relatório Síntese). Considerando o potencial ajustado, esse montante representa aproximadamente 12,74% dos investimentos totais estimados para a implementação de medidas de mitigação em todo o setor industrial brasileiro, estimadas em US\$ 33,331 bilhões (Tabela 55).

⁷² Ver estimativas detalhadas no relatório sobre emissões do setor industrial.

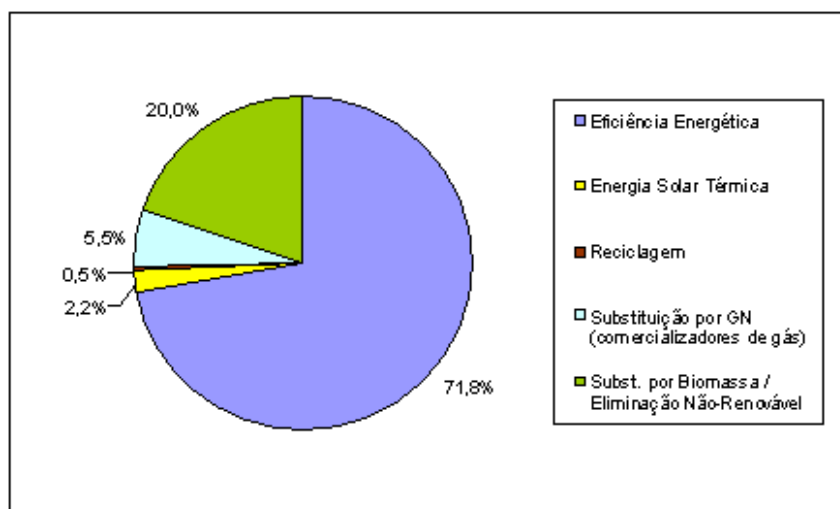
Tabela 55: Custos de investimento do uso adicional de carvão vegetal renovável em comparação com a soma das medidas de mitigação no setor industrial brasileiro, considerando o potencial ajustado

Medidas de Mitigação	Investimento (1.000 US\$)	% dos Investimentos
Soma das medidas de mitigação em todo o setor industrial brasileiro	33.330.829	100,00
- Uso de carvão vegetal renovável ao invés de carvão mineral ou de carvão vegetal não-renovável)	4.245.440	12,74

Fonte: Adaptação dos dados apresentados no relatório sobre emissões do setor industrial.

Vale destacar que os investimentos necessários para viabilizar a utilização adicional de carvão vegetal renovável no setor siderúrgico representam mais de 60% dos investimentos totais em biomassa contemplados em todas as medidas de mitigação previstas neste estudo, que representam aproximadamente 20% de todos os investimentos previstos, conforme a Tabela 56.

Figura 59: Distribuição percentual dos investimentos por medidas agrupadas



Fonte: Extraído do relatório das emissões do setor industrial

A tabela abaixo apresenta as principais hipóteses utilizadas para a análise técnico-econômica, elaborada no relatório sobre emissões do setor industrial (tema de outro Relatório Síntese deste estudo). Considerando que a siderurgia a Carvão Vegetal Renovável é responsável por 90,2%⁷³ das reduções de emissões atribuíveis à substituição por biomassa, a tabela abaixo foi adaptada aos valores apresentados pelo relatório sobre emissões do setor industrial, respeitando essa proporção. Ao somar os valores de investimento e custo referentes à substituição por biomassa e à eliminação de biomassa não-renovável, as seguintes hipóteses foram levantadas:

Tabela 56: Hipóteses da análise técnico-econômica

Medidas de Mitigação	Linha de base (Valor Presente em 10 ⁶ US\$)			Opções de Mitigação (Valor Presente em 10 ⁶ US\$)			
	Investi- mento	Custo Energia / O&M	Receita	Investi- mento	Custo da Energia	Custo de O&M	Receita
Uso de carvão vegetal renovável em vez de carvão mineral ou de carvão vegetal não-renovável	4.652	341.333	0	8.897	338.630	1.135	0

Fonte: Adaptação dos dados apresentados no relatório sobre emissões do setor industrial.

5.4 Abatimento de emissões com plantio direto

A importância do sistema de plantio direto no contexto da agricultura nacional, em termos socioeconômicos e ambientais, parece não ser plenamente reconhecida pelo governo. A atual política agrícola adotada no país não prevê qualquer punição ao produtor que traz danos ao meio ambiente, como ocorre em áreas manejadas sob plantio convencional que perdem toneladas de solo por erosão, assoreando rios e lagos, ou mesmo que levam à degradação do solo pela perda de matéria orgânica.

Culturalmente, é cômodo para o produtor não mudar suas práticas de produção, pois não terá que buscar novos conhecimentos, se arriscar, investir.

As barreiras que entravam a expansão do plantio direto no país precisam ser superadas e, para isso, vislumbram-se as seguintes políticas públicas:

- a) Incentivo à pesquisa básica e tecnológica para gerar continuamente informações que garantam a sustentabilidade do plantio direto nas diferentes regiões do país
- b) Reestruturação do sistema de extensão rural, com preparação de técnicos para que atuem como elo entre as instituições de pesquisa, universidades e os diferentes segmentos do setor produtivo. É fundamental que as Universidades e Escolas técnicas considerem o sistema de plantio direto no currículo mínimo de formação de profissionais
- c) Créditos prioritários, facilitados e diferenciados para produtores que adotem o sistema de plantio direto; ex.: ampliação do orçamento para o crédito agrícola, com juros menores, orientado aos produtores que praticam o plantio direto; seguro rural, com possibilidade de redução dos prêmios em função do tempo de adoção do sistema, etc.

- d) Ampliação do armazenamento e garantia de compra de produtos relevantes para o plantio direto, como milho e arroz
- e) Desenvolvimento de instrumentos financeiros de “hedge” de preços de insumos essenciais ao sistema plantio direto (ex.: herbicidas).

Cálculo do custo

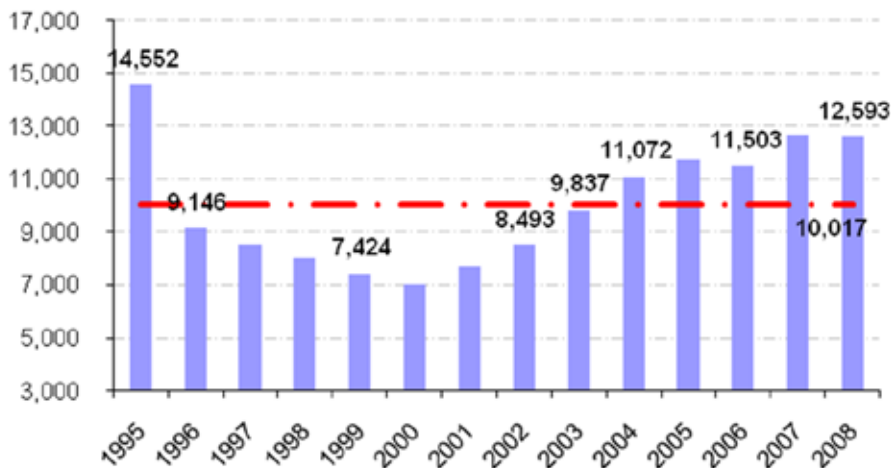
As variáveis requeridas para a estimativa do custo marginal de abatimento de emissões com o plantio direto foram trabalhadas tal como segue:

Taxa de desconto. Para efeito de desconto dos fluxos de caixa da atividade agrícola, emprega-se não uma única taxa de desconto, mas uma *yield curve*. A ideia aqui embutida é que o capital empregado constitui-se da agregação de diversos “zero coupon bonds” com maturação anual a partir de 2008 até 2035. A *yield curve* foi construída pela adição das taxas livres de risco, para cada ano, dadas pelas NTN (Notas do Tesouro Nacional) de vencimento correspondente, com o prêmio de risco, que varia de 5% a 4% ao longo do período, multiplicado pelo β de 1,5 usualmente empregado em projetos do agribusiness no Brasil. O prêmio de risco para a economia brasileira e o β do setor agropecuário foram obtidos por meio de entrevistas com especialistas do Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social.

Taxa de câmbio. Nos últimos anos, a taxa de câmbio entre o real e o dólar americano apresentou grande volatilidade, o que introduziu grande dificuldade para previsão de seu comportamento para os próximos anos. Optou-se, então, pelo uso das estimativas de mercado para o dólar de fim de período, capturadas pela pesquisa Focus, do Banco Central, para os anos seguintes até 2013, último ano disponível. A partir daí, adotou-se a hipótese de que o dólar acompanhará a inflação, estimada em 4,5% ao ano até o ano de 2035.

Custo da terra. O custo da terra foi estimado a partir dos preços de terras capturados pelo Instituto de Economia Agrícola de São Paulo (IEA). Os preços medianos das terras dos municípios paulistas, disponíveis em R\$ por hectare e colhidos nos meses de junho de cada ano desde 1995 até 2008, foram atualizados pelo IGP-DI a valores de março de 2009. A escolha da base de dados de São Paulo introduz uma distorção nos cálculos, tendo em vista que são as terras mais caras do país. São as que contam com melhor infraestrutura, proximidade do mercado consumidor e do porto de Santos, que é o maior porto exportador do Brasil, e ainda sofrem a pressão da especulação imobiliária. É, no entanto, a melhor opção por ser a fonte mais confiável de dados no Brasil. Seu comportamento pode ser observado na Figura 60.

Figura 60: Custo da terra no estado de São Paulo, registrado no período de 1995 a 2008



Como se pode observar, depois de recuar de 1995 até 2000, os preços das terras (em termos reais) elevaram-se sistematicamente pelos anos seguintes, refletindo, possivelmente, o *boom* das *commodities* e o aumento da liquidez nos mercados financeiros. Ao que tudo indica, como reflexo da crise financeira, as terras deverão enfrentar desvalorização por tempo ainda incerto, recuando em relação aos valores de 2008.

Seja como for, é importante ressaltar que os dados disponíveis, que são os melhores disponíveis, não permitem a construção de modelos precisos sobre a evolução dos preços das terras até o ano de 2035, tendo em vista que a série não é longa o suficiente. Diante dessa dificuldade, optou-se pelo uso da média histórica dos valores medianos, em termos reais, para estimar os preços futuros das terras. Dessa forma, para o ano de 2008, foi utilizado o valor de R\$ 12.593 por hectare, média dos últimos registros disponíveis. Para o ano de 2009, foi utilizado o preço de R\$ 10.562, que é o preço médio de R\$ 10.017, acrescido da inflação de 4,5%. Daí por diante, o preço das terras foi corrigido pela inflação estimada de 4,5% ao ano.

Preço das principais commodities. O cálculo do preço representativo das *commodities* em estudo (soja, milho, arroz, feijão, algodão) tem de ser útil para o cálculo agregado do custo “marginal” de carbono capturado com a conversão das técnicas de plantio tradicionais para as técnicas de plantio direto. Sendo assim, a multiplicação das quantidades físicas da produção agrícola agregada deverá resultar no valor da produção agrícola. O caminho mais óbvio, nesse sentido, é calcular, para cada ano, a média dos preços desses produtos ponderados pela participação de cada um desses produtos no total produzido.

Para elaborar esse cálculo, foram empregadas as estimativas de quantidades produzidas elaboradas pela consultoria Ícone. Os preços empregados e os estimados para o período de 2008 até 2035 foram extraídos da base de dados de preços pagos ao produtor no Estado de São Paulo, mantida pelo Instituto de Economia Agrícola de São Paulo.

Para estimar os preços ainda não conhecidos, o primeiro passo é considerar as suas respectivas séries históricas, a partir de janeiro de 1980. A razão de dispensar os anos anteriores ao de 1980 deveu-se ao fato de que houve uma quebra estrutural na série, decorrente da intensificação da globalização e do comércio internacional de *commodities*.

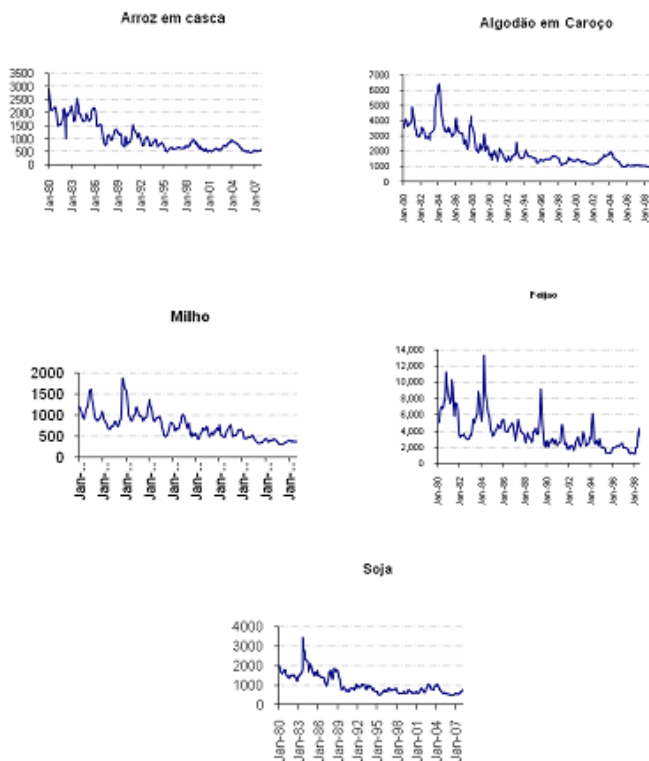
Limitado o início das séries, o passo seguinte é a inspeção visual dos cinco gráficos abaixo, que estampam o comportamento dos preços pagos aos produtores paulistas, corrigidos pelo IGP-DI/FGV, para reais de março de 2009, por tonelada de produto.

É possível observar pela Figura 61 que os anos 80 apresentam volatilidade superior à dos anos que se seguem. Esse movimento, também observado nos mercados internacionais, foi exacerbado no Brasil pela instabilidade econômica. Apenas para efeito de ilustração, de 1980 até 1994 o país testemunhou cinco reformas monetárias e sofreu com forte instabilidade cambial.

A partir dos anos 90, observa-se maior estabilidade nos preços das *commodities*, tanto no mundo como no Brasil, o que pareceu conformar um novo padrão de comportamento de preços agrícolas. Tal estabilidade, no entanto, pode estar ameaçada pela iminência de uma nova quebra estrutural, decorrente da conjunção de três fatores: aumento do consumo de alimentos por parte de países emergentes, como a China, a Índia, a África do Sul, a Rússia e o Brasil; a eclosão dos biocombustíveis; e os efeitos da crise econômica internacional. Tais fatos novos, responsáveis pelo aumento da volatilidade observado nos últimos dois anos, geraram desconfiança sobre a validade dos exercícios de balanço de oferta e demanda para previsão dos preços para um horizonte mais longo.

Tendo em vista a necessidade de estabelecer uma previsão razoável sobre os preços dos produtos, mas diante das dificuldades mencionadas, optou-se pelo uso da média histórica dos preços, em termos reais, das cinco *commodities*, calculada a partir de julho de 1994. A escolha do cálculo da média histórica justifica-se pela simplicidade quando há muita insegurança na definição de modelos mais sofisticados. Já a definição do período de análise visa eliminar o efeito da hiperinflação, ao limitar o início da série ao momento da introdução do real, quando a economia brasileira passou a exibir maior estabilidade.

Figura 61: Variação nos preços das culturas utilizadas no presente estudo



Para o período considerado (2008 até 2035) o vetor de preços de cada uma das *commodities*, a cada ano, é composto pelas médias históricas (1994 até 2008) corrigidas pela inflação acumulada estimada. Considerando que a inflação é, em grande medida, efeito da política monetária e que não há indicação de metas de inflação para além do ano de 2012, por hipótese, foi adotada a meta de inflação vigente até 2012 (4,5%a.a.) como estimativa da inflação futura anual até 2035. Feitas essas considerações, o preço da unidade física (tonelada) representativa das cinco *commodities* foi calculada como a média dos preços agrícolas ponderada pela participação de cada *commodity* no total da produção física das cinco *commodities*.

Despesas de O&M, principais insumos e investimentos. A base de dados empregada para os cálculos das despesas é a estimativa de custos por hectare da produção, elaborados pela CONAB/MAPA (Cia. Nacional de Abastecimento/Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento). Os custos agrícolas considerados no trabalho são os custos de O&M (*operational and management costs*), os custos dos insumos mais importantes e as despesas de investimentos. Como as despesas da CONAB não são classificadas de acordo com essa nomenclatura, o primeiro passo foi elaborar essa classificação.

Para o cálculo dos custos de O&M e dos principais insumos, foram selecionadas todas as estimativas disponíveis para as cinco culturas para a safra 2008/2009. Em seguida, foram separadas as estimativas de custo de plantio direto das demais, que foram reunidas sob o rótulo de plantio convencional. A agregação das estimativas nos dois grupos, visando uma estimativa dos custos por hectare para o plantio direto e para o plantio convencional obedeceu à lógica do cálculo da média ponderada dos custos pela quantidade produzida de cada *commodity* em relação à quantidade total produzida de *commodities* em cada tipo de plantio.

Para efeito do cálculo do fluxo de caixa dos empreendimentos agrícolas, adotou-se a hipótese de rigidez da participação das despesas de O&M e de insumos por cultura. Assim, a partir das estimativas das quantidades produzidas de cada produto segundo cada técnica de plantio, as despesas foram corrigidas pela mudança de composição das quantidades físicas produzidas de cada mercadoria no total da produção de cada mercadoria e corrigidas, ainda, pela estimativa de inflação de cada ano (4,5% a.a.).

No caso das despesas de investimentos, não foram considerados os investimentos em terras, mas apenas os investimentos em benfeitorias e equipamentos. Considerando que a CONAB estima a remuneração das benfeitorias e equipamentos, ou custos fixos, como 6%⁷⁴ da metade do preço dos equipamentos novos, o cálculo das despesas com benfeitorias e equipamentos necessários para a produção é, simplesmente, o valor da remuneração esperada decorrente do capital fixo dividida por 6% e multiplicada por 2. Para o cálculo das despesas de investimentos por hectare foi ainda necessário ponderar, a cada ano, a despesa do investimento de cada cultura por sua participação relativa.

Por sua vez, as despesas de investimento não podem, obviamente, ser lançadas a cada ano no fluxo de caixa, uma vez que parte substancial do investimento ocorre no momento imediatamente anterior à atividade produtiva. Diante da falta de informações sobre o comportamento dos investimentos para as *commodities* consideradas, optou-se pelo lançamento da despesa de investimento no primeiro ano da série. No entanto, sendo o período considerado no estudo muito grande e levando em conta que a depreciação de equipamentos agrícolas é de 10 anos, optou-se por lançar, a cada 10 anos, novas despesas de investimento.

Não foi considerado, por simplificação, o valor residual dos equipamentos, diante do fato de que cada tipo de equipamento tem um resíduo diferenciado e que a maioria dos equipamentos tem resíduo desprezível. Outra simplificação adotada por falta de informações é não distinguir, entre o capital fixo, as benfeitorias dos equipamentos. As benfeitorias são depreciadas ao longo de 25 anos, além de deixarem um resíduo de 25% do valor inicial.

Custo

Os custos para execução do sistema de plantio direto para as culturas da soja, milho, arroz, feijão e algodão foram obtidos a partir da base de dados da CONAB/MAPA (Cia. Nacional de Abastecimento/Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) para a safra 2008/2009. São apresentadas as estimativas de custos por hectare da

⁷⁴ 6% é o rendimento considerado do uso alternativo do capital.

produção agrícola brasileira, para diferentes regiões do país. Os custos agrícolas considerados foram os de O&M (*operational and management costs*), os dos insumos mais importantes (herbicidas, fertilizantes, etc.) e as despesas de investimentos (máquinas e equipamentos), não sendo consideradas as despesas com aquisição da terra. Dessa mesma forma, foram obtidos os custos do sistema de plantio convencional para elaboração do Cenário de Referência. As estimativas dos itens de custos para cada sistema de plantio foram obtidas pela média dos custos descritos para cada *commodity*, ponderada pela quantidade produzida de cada uma, simulando o que seria uma “*commodity* agregada”. A proporcionalidade entre os itens de custos foi mantida invariável ao longo dos anos para cada *commodity*.

O total não descontado de investimentos no período de 2010 a 2030, expresso em reais no ano de 2009, para o Cenário de Baixo Carbono (100% da área plantada sob plantio direto) é de R\$ 335,6 bilhões, ou 70% do total requerido para o Cenário de Referência (R\$ 473,9 bilhões) para as 5 culturas anteriormente mencionadas. Deve-se considerar que essa diferença é válida para a “*commodity* agregada”, mas que poderá ser maior ou menor para cada uma das 5 culturas em cada uma das diferentes regiões que contribuíram para a base de dados da CONAB (Tabela 57).

Em decorrência do menor investimento, menores custos operacionais e insumos (8% menores), requeridos para o Cenário de Baixo Carbono, o custo marginal para abatimento das emissões é negativo (-R\$ 0,72/ton C), indicando que a alternativa considerada nesse cenário, o plantio direto, já é economicamente superior (Tabela 58). Portanto, para uma mesma condição de mercado, a TIR para um cenário de 100% da área sob plantio direto é sempre maior do que a TIR obtida para a condição do Cenário de Referência.

Esses resultados ratificam avaliações econômicas anteriores sobre sistemas de plantio no Brasil, segundo as quais o uso de plantio direto é sempre mais vantajoso, em média com custo 6% menor. Vai contra o senso comum de que técnicas ambientalmente sustentáveis tendem a ser mais caras, e necessitam de incentivos adicionais aos de mercado para serem adotadas.

Tabela 57: Discriminação de itens de custo considerados no estudo

Produtividade Média:	
DISCRIMINAÇÃO	Classificação da Despesa
I - DESPESAS DE CUSTEIO DA LAVOURA	
1 - Operação com avião	O&M
2 - Operação com máquinas	O&M
3 - Aluguel de máquinas/serviços	O&M
4 - Mão-de-obra temporária	O&M
5 - Mão-de-obra fixa	O&M
6 - Sementes	Insumos
7 - Fertilizantes/corretivos	Insumos
8 - Defensivos	Insumos
9 - Outras Despesas (touca, armadilhas, etc.)	O&M
Total das Despesas de Custeio da Lavoura (A)	
II - DESPESAS PÓS-COLHEITA	
1 - Seguro da produção	Capital
2 - Assistência técnica	O&M
3 - Transporte externo	O&M
4 - Beneficiamento	O&M
5 - Armazenagem	O&M
Total das Despesas Pós-Colheita (B)	
III - DESPESAS FINANCEIRAS	
1 - Juros	O&M
Total das Despesas Financeiras (C)	
CUSTO VARIÁVEL (A+B+C = D)	
IV - DEPRECIACÕES	
1 - Depreciação de benfeitorias/instalações	Capital
2 - Depreciação de implementos	Capital
3 - Depreciação de máquinas	Capital
Total de Depreciações (E)	
V - OUTROS CUSTOS FIXOS	
1 - Manutenção periódica de máquinas/implementos	O&M
2 - Encargos sociais	O&M
3 - Seguro do capital fixo	O&M
Total de Outros Custos Fixos (F)	
Custo Fixo (E+F = G)	
CUSTO OPERACIONAL (D+G = H)	
VI - RENDA DE FATORES	
1 - Remuneração esperada sobre capital fixo	
2 - Terra	
Total de Renda de Fatores (I)	
CUSTO TOTAL (H+I = J)	
Elaboração: CONAB/DIGEM/SUINF/GECUP	

No entanto, no Brasil houve estagnação e mesmo retrocesso na adoção dessa técnica de plantio. Isso pode ser explicado por fatores tais como percepção de alto risco com a mudança de sistema produtivo, conhecimento limitado quanto ao correto uso do sistema, entre outras barreiras já discutidas. À luz do mencionado, a conveniência de um programa de incentivos de ordem econômica deve ser considerada como um fator estratégico de motivação para estimular a quebra das barreiras pelos produtores.

Tabela 58: Potencial de redução de emissões em toneladas de CO₂eq, custo de abatimento médio no período e preço a ser pago pela tonelada de C para compensar a implementação do plantio direto

Opções de Mitigação ou Remoção de carbono	Potencial de redução bruto entre 2010-30 (MtCO ₂ e)	Custo de abatimento médio no período (US\$/tCO ₂) Taxa de desconto (8%)	Break-Even Carbon Price (US\$/tCO ₂)
Plantio direto	355	- 0,72	-0,20

6 Conclusão

Ao seguir na direção de um Cenário nacional de Baixo Carbono, o principal desafio do Brasil sem dúvida é a redução do desmatamento. Apesar do sucesso recente do governo brasileiro em implementar políticas agressivas de proteção florestal, espera-se que o desmatamento continue a ser a principal fonte de emissões de GEE do Brasil por um longo tempo. Além do mais, diversos estudos recentes mostraram que o desmatamento significa muito mais do que apenas a liberação de GEEs. O desmatamento por fogos emite também aerossóis que afetam o regime de chuvas e de temperatura (ver seção 4.9) e uma avaliação recente do Banco Mundial sobre o colapso da floresta amazônica (conhecido como “Amazon Dieback” em inglês),⁷⁵ mostrou que existe uma troca clara entre o desmatamento e o dano esperado na floresta devido à mudança climática global, cuja progressão mais severa segue o mesmo padrão espacial do desmatamento. Pela redução de emissões de GEE, assim como para eliminar as perturbações dos regimes de chuvas e temperaturas a curto prazo e mitigar o risco do *dieback* da floresta amazônica a longo prazo, deve-se eliminar as queimadas e incêndios da região amazônica.

O Brasil ganhou uma experiência considerável em políticas e projetos de proteção florestal, e em encontrar maneiras de gerar atividades econômicas compatíveis com a sustentabilidade de florestas nativas. Projetos e políticas de proteção florestal são usados como diques para conter a progressão das frentes pioneiras. Entretanto, uma redução mais drástica na destruição da floresta exigiria mais do que proteção. A mudança para um Cenário de Baixo Carbono exigiria ação sobre causa primária de desmatamento, a demanda por mais terras para agricultura e pecuária. Portanto, este estudo propõe uma estratégia que aja em duas frentes complementares: (i) eliminar as causas estruturais do desmatamento e (ii) proteger a floresta contra as tentativas de derrubá-la. A implementação da primeira parte envolveria trabalho com atores que usam terra já desmatada, enquanto a segunda incluiria aqueles que têm interesses velados em novos desmatamentos.

Em relação à primeira frente, eliminar a demanda por mais terra exigiria a acomodação da expansão da agricultura e da indústria da carne – ambas importantes para a economia brasileira – em terras já desmatadas. Isso significaria um aumento drástico em produtividade por hectare. Tecnicamente, uma opção disponível é aumentar a produtividade da pecuária, liberando grandes quantidades de pasto. Essa opção é tecnicamente possível, uma vez que a produtividade pecuária média atual é baixa, e significaria disseminar os sistemas produtivos já existentes no Brasil (ex.: sistemas de confinamento na engorda e integração lavoura-pecuária).

O potencial para liberar e recuperar pastos degradados é considerável, e é suficiente para acomodar o cenário de crescimento mais ambicioso. Além disso, a passagem de sistemas de produção de baixa produtividade para alta produtividade pode disparar um ganho líquido para a economia do setor, já que processos mais intensivos

⁷⁵ Veja “Avaliando o Risco de Colapso da Floresta Amazônica: Uma Avaliação do Banco Mundial”, por José A. Marengo, Carlos A. Nobre, Walter Vergara, Sebastien Scholtz, Alejandro Deeb, Peter Cox, Wolfgang Lucht, Hiroki Kondo, Lincoln Alves, e Jose Pesquero.

convergem com retornos econômicos maiores (Capítulo 7). Mas essa opção também pressupõe quatro questões desafiadoras.

Em primeiro lugar, sistemas pecuários produtivos têm maior intensidade de capital, tanto no estágio de investimento quanto no capital de trabalho. Fazer com que fazendeiros mudem para esses sistemas exigiria ofertas de grandes volumes de financiamento atraente, muito além dos níveis atuais de empréstimos. Taxas de juros comerciais normalmente são altas demais para tornar atraentes esses investimentos. Além disso, os bancos muitas vezes não querem emprestar aos fazendeiros, a quem consideram devedores de alto risco. Assim, um grande volume de incentivos financeiros, junto com critérios de empréstimo mais flexíveis, seria necessário para tornar esse financiamento viável tanto para fazendeiros quanto para o sistema bancário. Nos últimos cinco anos, o governo brasileiro desenvolveu programas para estimular a adoção de sistemas mais produtivos (ex.: PROLAPEC e PRODUSA) para reduzir os riscos de negócios, aumentar a renda no campo e renovar áreas de pasto degradadas. Uma primeira tentativa de se estimar o volume de incentivos necessário indica uma ordem de magnitude de US\$21,5 bilhões por ano.

Em segundo lugar, esses sistemas exigem qualificações mais altas do que o cultivo extensivo tradicional, que costuma seguir para novas áreas assim que a produtividade do pasto fica degradada, eventualmente convertendo mais vegetação nativa em pasto. Assim, o esforço de financiamento deve ser acompanhado por um desenvolvimento intensivo de serviços de extensão. Políticas públicas que promovem a extensão rural e treinamento de criadores de gado seriam importantes para superar esse obstáculo.

Em terceiro lugar, deve-se evitar um efeito rebote. Ou seja, a rentabilidade maior com menor necessidade de terra para produzir o mesmo volume de carne pode disparar um incentivo para converter mais floresta nativa em pasto. Esse risco é especialmente alto em áreas onde foram abertas ou pavimentadas novas estradas. Assim, o incentivo fornecido deve ser geograficamente seletivo: ele deve ser dado apenas onde está claramente estabelecido, com base em títulos de propriedades válidos e georreferenciados, em que o projeto não incluirá conversão de vegetação nativa nem áreas convertidas em anos recentes (ex.: menos de 5 anos), legalmente ou não. Este estudo apontou que essa estipulação seria tecnicamente possível, pois verificou que podem ser liberados pastos suficientes nacionalmente até sem o aumento da produtividade pecuária na região amazônica. Assim, qualquer financiamento subsidiado para produção pecuária na região amazônica deve ser feito de maneira extremamente seletiva e exigente, e a área em questão deve ser muito bem monitorada.

Em quarto lugar, diversas opções atraentes consideradas no Cenário de Baixo Carbono para mitigar emissões ou aumentar a remoção de carbono ampliam a exigência de se liberar pastos de modo considerável. Por exemplo, obediência estrita à Lei de Reservas Legais resultaria no replantio de mais de 44 milhões de hectares atualmente alocados para outras atividades. Enquanto o replantio da floresta removeria uma grande quantidade de dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera, essa área – mais do que o dobro da expansão esperada de terras de agricultura e pasto no Cenário de Referência – não estaria mais disponível para tais atividades. Evitar um “vazamento de desmatamento”, portanto, exigiria que fosse liberada uma quantidade adicional equivalente de pasto; de outra forma, parte da produção teria que ser reduzida para evitar a conversão de mais vegetação nativa em outro lugar. O mesmo raciocínio

se aplica à expansão de qualquer outra atividade que exija terra (ex.: atividades bioenergéticas envolvendo etanol ou carvão renovável), embora em escala bem menor. No Cenário de Baixo Carbono, uma maior expansão dessas atividades, todas juntas, exigiria menos do que um quarto da terra adicional necessária para reservas florestais legais. Portanto, existe uma troca difícil entre (i) mais esforços para aumentar a produtividade pecuária para liberar mais terra e (ii) obediência total à recuperação de reservas legais e expansão de novos cultivos no Cenário de Baixo Carbono. Uma obediência menor às obrigações legais atuais em relação às reservas florestais tornaria mais fácil a meta de acomodar todas as atividades sem desmatamento, mas significaria menos remoção de carbono; o oposto também é verdadeiro.

Para proteger a floresta contra as causas remanescentes de desmatamento, propõe-se que as áreas florestais onde o desmatamento é ilegal sejam protegidas contra interesses fraudulentos de derrubá-las. Deve-se ressaltar que pode haver uma lacuna significativa entre o tempo em que a demanda por terra é reduzida e o tempo em que a mudança comportamental dos agentes de desmatamento na fronteira, legais ou ilegais, possa ser efetivamente observada.

A proteção de áreas florestais onde o desmatamento é ilegal pode ser alcançada através de uma variedade de atividades, desde ação policial repressora até projetos de uso sustentável. Nos últimos anos, o governo brasileiro se esforçou consideravelmente nessa área, especialmente com o PPCDAM - Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal. Medidas de proteção podem incluir atividades semelhantes àquelas já postas em prática sob o PPCDAM, como (i) expansão e consolidação de áreas protegidas, (ii) desenvolvimento de projetos integrados, e (iii) promoção do uso sustentável de recursos florestais. Tais esforços devem ser mantidos e provavelmente aumentados.

Se a estratégia proposta for totalmente implementada – ou seja, a demanda por terra adicional for eliminada, a floresta protegida contra as causas remanescentes de desmatamento e as oportunidades de remoção de carbono por plantações florestais plenamente exploradas – então a contribuição líquida do setor florestal brasileiro poderia ser invertida de altas emissões líquidas de GEE para uma remoção de carbono líquido de GEE em 2030.

7 *Anexo: A Análise dos Cenários de Baixo Carbono*

Para a construção de um cenário de uso do solo que possibilite um Cenário de Baixo Carbono, o estudo gerou sucessivamente cenários intermediários que incorporem os impactos das diferentes opções de mitigação e remoção considerada. Em particular foram analisados quatro cenários individualmente e um cenário que agrega as opções consideradas nos quatro primeiros cenários:

257

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

A fim de zerar as necessidades de conversão de vegetação nativa, todos os cenários sucessivos foram elaborados de maneira que a área total ocupada pelas atividades agropecuárias não aumenta depois do início do período. A maior área total ocupada pela agropecuária observada entre 2006 e 2008 foi escolhida, para cada região, como sendo o limite de expansão das atividades agrosilvopastoris até 2030. Apenas a região Norte Amazônia teve uma área maior em 2008, enquanto as demais tiveram maior área ocupada pela agropecuária em 2006. A melhoria dos índices zootécnicos e a intensificação de pastagens serão as variáveis chave para garantir que a maior demanda por terra para cana-de-açúcar e florestas de produção, bem como a redução da área produtiva no cenário de legalidade, não resultem em desmatamento adicional, evitando o efeito cascata na fronteira agrícola. A Tabela 59 mostra os quatro Cenários de Baixo Carbono, que darão origem ao cenário final que agrega os quatro anteriores.

Tabela 59: Relação dos Cenários de Baixo Carbono elaborados por este estudo

Cenários		Ação para Evitar o Efeito Dominó
Cenário de Baixo Carbono: medidas de mitigação	1. Otimização do rebanho	Melhorias nos indicadores zootécnicos
	2. Otimização do rebanho com floresta de produção crescente <ul style="list-style-type: none"> • Eliminação, em 2017, do carvão vegetal não-renovável e participação de 46% do carvão vegetal renovável na produção da siderurgia 	Intensificação de pastagens
	3. Otimização do rebanho com floresta de produção crescente, maior exportação de etanol e maior adoção de etanol de 2a geração. Mistura de 20% de etanol na gasolina com o Brasil atendendo a 15% desse mercado	Intensificação de pastagens
	4. Otimização do rebanho com cenário de legalidade (restauro florestal) <ul style="list-style-type: none"> • Recuperação do passivo ambiental de floresta legal calculado em 44,34 milhões de hectares 	Intensificação de pastagens
	5. Efeito combinado de todas as medidas	Intensificação de pastagens

Fonte: ICONE

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

No segundo cenário, foi considerada uma maior demanda por florestas de produção, além do rebanho menor. O cenário de florestas de produção tem como princípio um aumento da demanda de carvão vegetal para suprir a substituição de carvão mineral e carvão vegetal de florestas nativas na produção siderúrgica. Considerando a grande demanda de energia para produção de ferro-gusa, matéria-prima fundamental da indústria siderúrgica, uma maior participação de carvão vegetal de florestas de produção representa um grande impacto no uso do solo. No Cenário de Referência foi considerada uma demanda de cerca de um milhão de hectares de florestas de produção para suprir a produção de ferro-gusa. No segundo Cenário de Baixo Carbono, esta demanda subirá para 3,6 milhões de hectares, o que representa uma captação adicional de aproximadamente 500 milhões de toneladas de CO₂.

O terceiro cenário, de alta exportação de etanol e florestas de produção, é uma conjugação de quatro alterações exógenas em relação ao Cenário de Referência. Além do melhoramento dos índices zootécnicos, são consideradas maiores exportações brasileiras de etanol, a adoção progressiva da tecnologia de produção de etanol de segunda geração e, ainda, maior área alocada para florestas de produção. Assim como nos demais Cenários de Baixo Carbono, a área total para agropecuária não se altera.

Nesse terceiro cenário, além do cenário de florestas de produção acima descrito, é assumido que o etanol irá substituir 10% da gasolina mundial até 2030 e que as exportações brasileiras representarão 15% do consumo mundial de etanol. Tais pressuposições são fundamentadas nas expectativas dos principais países consumidores em relação a consumo de gasolina, mandatos de utilização de etanol, capacidade produtiva e regimes de comércio (Walter et al., 2008). As exportações brasileiras de etanol, que se encontravam no nível de 3,5 bilhões de litros em 2006, são projetadas para atingir 19, 37, e 84 bilhões de litros em 2015, 2020 e 2030, respectivamente. No cenário etanol, o consumo interno de etanol não é alterado em relação ao Cenário de Referência.

A adoção da tecnologia de etanol de segunda geração tem impactos diretos no modelo de uso do solo, uma vez que a utilização do material celulósico (principalmente o bagaço de cana-de-açúcar) para a produção de etanol reduz a demanda de cana-de-açúcar para uma mesma demanda de etanol, reduzindo dessa forma a demanda por área. A adoção do etanol de segunda geração ocorre progressivamente. Em 2010, o etanol de segunda geração é responsável por apenas 0,4% (0,13 bilhões de litros) de toda a produção nacional. Esse percentual cresce progressivamente para 2,5% (1,3 bilhões de litros) em 2015, 6,1% (4,5 bilhões de litros) em 2020, chegando a 13,3% (17,3 bilhões de litros) em 2030.

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

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

Após a estimativa da área que deveria ser destinada a RL, foi retirada a área com vegetação nativa existente entre vegetação secundária, savana e florestas. O resultado é a área que deve ser destinada a reflorestamento para se cumprir a determinação em lei da RL (Tabela 60). O estudo considerou que essas áreas que necessitam ser regularizadas serão reflorestadas de modo gradual, ano a ano. Assim, partindo de 2009, foi descontada da área disponível para produção agrícola $\frac{1}{22}$ da área total a ser reflorestada, até atingir a legalidade plena em 2030.

Tabela 60: Área necessária para reflorestamento de Reserva Legal, por estado do Brasil (hectares)

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

Fonte: UFMG. Elaboração: ICONE

O **último cenário** agrega os quatro cenários anteriores. Assim, tem-se um rebanho com melhores índices zootécnicos, maior demanda por etanol, maior demanda por florestas de produção e recuperação do passivo ambiental a partir do reflorestamento.

7.1 Cenário de otimização do rebanho

O primeiro Cenário de Baixo Carbono foi desenvolvido em parceria com a Embrapa Cerrados. Nesse cenário, o rebanho aumentará de 206 para 208 milhões de cabeças entre 2006 e 2030. Assim, houve um maior ganho na taxa de natalidade do rebanho bovino em relação ao Cenário de Referência passando de 0,77 para 0,82 bezerros para cada fêmea entre 2006 e 2030. Isso representa uma taxa de crescimento de 0,36% ao ano entre 2009 e 2030. Além disso, a taxa de desfrute aumentou em relação ao Cenário de Referência apresentando uma taxa de crescimento de 0,80% ao ano entre 2009 e 2030 e passando de 23% para 27% do total do rebanho bovino entre 2006 e 2030.

Apesar do rebanho bovino menor, a produção de carne bovina apresentou resultados semelhantes aos do Cenário de Referência sendo isso necessário para atender à demanda por carne bovina. Entre 2006 e 2018, a produção de carne bovina passou de 9,9 para 11,2 milhões de toneladas, aumentando para 13,2 em 2030 (Tabela 61).

Tabela 61: Oferta e demanda de equilíbrio para os produtos selecionados, cenário de otimização do rebanho

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

Fonte: ICONE

O resultado mais importante neste cenário se refere à alocação das áreas de pastagens. Com o rebanho crescendo menos e, ainda, devido à hipótese de não crescimento da área total a partir de 2009, a área de pastagens apresentou redução significativa no período em análise. Entre 2006 e 2018, a área de pastagens deverá reduzir 10,7 milhões de hectares e, até 2030, esta diminuição deverá ser de 18,8 milhões de hectares, atingindo 190 milhões de hectares. Isso implica um ganho de produtividade no que diz respeito ao número de animais por hectare, que aumenta de 0,99 para 1,09 para todo o período, representando um incremento de 0,48% ao ano (Tabela 62).

Tabela 62: Uso do solo no Brasil, cenário de otimização do rebanho (em mil hectares)

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

Fonte: ICONE

Apesar de a redução nas áreas de pastagens ter sido significativa em todas as regiões, ela foi maior no Norte Amazônia, comparando os Cenários de Referência e de otimização do rebanho. Nesse último cenário as áreas de pastagens nessa região diminuirão 2,7 milhões de hectares entre 2006 e 2030, ao contrário do Cenário de Referência onde se observou um aumento de 12 milhões de hectares para o mesmo período (Tabela 63). A principal explicação para este fato se deve à redução de rebanho bovino de 18,2 milhões de cabeças deste cenário em relação ao Cenário de Referência. Esta foi a região que apresentou maior impacto sobre a redução no rebanho em relação ao Cenário de Referência que passou de 68 para 49,9 milhões de cabeças, como pode ser visto na Tabela 64.

Tabela 63: Alocação regional das áreas de pastagens, Cenário de Referência e de otimização do rebanho (em mil hectares)

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

Fonte: ICONE

Tabela 64: Distribuição regional do rebanho bovino, Cenário de Referência e cenário de otimização do rebanho (em mil cabeças)

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

Fonte: ICONE

Como não houve alterações significativas na área alocada para as culturas, também não ocorrerá mudança expressiva na distribuição do rebanho bovino entre as seis regiões do modelo. Devido à redução na idade média de abate e à necessidade de suplementação alimentar dos animais, foi observado um aumento na produção de milho, de 517 mil toneladas em 2006 para 5 milhões de toneladas em 2030. Isso implicou, em relação ao Cenário de Referência em uma demanda adicional por área de milho de primeira safra de 120 mil de hectares em 2030 e, ainda, um aumento de 31 mil hectares na área de segunda safra de milho no mesmo período. Esse incremento exógeno na sua demanda resultou em um aumento no preço do milho e fez com que as exportações líquidas reduzissem 152 mil toneladas, além da redução da demanda para outros usos. Para se ter uma ideia, a produção de carne de frango e suína reduziu, respectivamente, 319 e 61 mil toneladas em 2030 em relação ao Cenário de Referência. Assim, combinados todos os efeitos, a produção total de milho aumentou 808 mil toneladas em relação ao Cenário de Referência.

7.2 Cenário de florestas de produção

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

No decorrer do período analisado (de 2006 a 2030) a área destinada a florestas de produção aumentará 112%, passando de 5,3 para 11,2 milhões de hectares. Neste Cenário de Baixo Carbono, a área alocada para florestas de produção em 2030 será 2,8 milhões de hectares maior que no Cenário de Referência o qual neste ano indica uma área de 8,4 milhões de hectares de florestas de produção. Esta diferença de 2,8 milhões de hectares entre os dois cenários foi, em grande parte, acomodada nas áreas de pastagens, que, devido a ganhos de produtividade, caíram de 209 para 188 milhões de hectares no período analisado. Essa queda de 21 milhões de hectares de pasto acomodou, além da expansão das florestas de produção, o crescimento das demais culturas analisadas, que mantiveram sua área ocupada e sua produção, em comparação com o Cenário de Referência (Tabela 65).

Tabela 65: Distribuição regional da floresta de produção no Cenário de Referência e no cenário de floresta de produção (em mil hectares)

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

Fonte: ICONE

Em relação à distribuição das áreas alocadas para florestas de produção entre as regiões do modelo em 2030, é observado um crescimento da participação da região Sudeste de 33 para 44% da área no Brasil, comparando este Cenário de Baixo Carbono com o Cenário de Referência. Este resultado é explicado principalmente pela alta concentração da indústria siderúrgica nesta região e resultou numa menor participação da região Sul, que caiu de 31% para 25%.

7.3 Cenário de etanol e florestas de produção

No cenário de grandes volumes de exportação etanol, as exportações do energético alcançam o patamar de 8 bilhões de litros, ou seja, 6,5 vezes mais que as exportações observadas no Cenário de Referência. Assim, a demanda total composta pelas exportações, demanda doméstica e estoques finais de etanol alcançará 147 bilhões de litros em 2030. Tal expansão da demanda de etanol faz com que a demanda por área para cana-de-açúcar (todos os usos) ultrapasse 19 milhões de hectares em 2030 em todo Brasil. Essa área será 6,5 milhões de hectares maior que no Cenário de Referência (Tabela 66).

Ainda analisando os valores agregados para o Brasil percebe-se que o impacto da expansão da cana-de-açúcar não reduzirá significativamente a área ocupada pelas demais culturas, sendo esta em grande parte acomodada pela redução de área de pastagens. De fato, a soja e o milho primeira safra, que são as culturas que mais foram afetadas pela expansão da cana-de-açúcar, terão uma redução menor que 0,5% em sua área plantada no período projetado. No presente cenário, a área de pastagens será 26,5 milhões de hectares menor que no Cenário de Referência e 9,6 milhões de hectares menor que no cenário de otimização do rebanho em 2030 (Tabela 62). Dessa forma, a expansão da cana-de-açúcar exige um esforço adicional no aproveitamento das pastagens em relação ao cenário de otimização do rebanho, decorrente de uma melhoria na taxa de lotação de aproximadamente 5%.

É importante ressaltar que a adoção do etanol de segunda geração contribui significativamente para diminuir a pressão que a expansão das exportações de etanol exerce sobre a demanda de área. No padrão de produtividade esperado para 2030 seriam necessários 182 milhões de toneladas de cana-de-açúcar para produzir 17 bilhões de litros de etanol. Assumindo uma produtividade de 100 toneladas de cana-de-açúcar por hectare, a produção de etanol de celulose estaria reduzindo a demanda de área para cana em aproximadamente 1,8 milhões de hectares⁷⁶.

Tabela 66: Uso do solo no Brasil, cenário de etanol (em mil hectares)

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

Fonte: ICONE

A análise regional indica que, assim como no Cenário de Referência grande parte da expansão da cana-de-açúcar ocorre na região Sudeste, onde a área dedicada à cana-de-açúcar alcançará 8,1 milhões de hectares em 2020 e 11,1 milhões de hectares em 2030. Embora a participação percentual do Sudeste sobre a área total caia ao longo do período, esta redução será menos intensa que no Cenário de Referência (Tabela 67).

Tabela 67: Distribuição regional da cana-de-açúcar no Cenário de Referência, no cenário de otimização do rebanho e no cenário de etanol (em mil hectares)

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

Fonte: ICONE

⁷⁶ Uma avaliação mais rigorosa não permite tal interpretação, uma vez que a produção e exportação de etanol seriam provavelmente diferentes caso não ocorresse a implementação do etanol de segunda geração.

Por sua vez, as maiores variações da área de cana-de-açúcar em relação ao cenário de otimização do rebanho ocorrem no Sudeste, Centro-Oeste Cerrado, MAPITO e Bahia, respectivamente (Tabela 67). Nessas regiões observa-se também maior resposta de redução das pastagens, tanto pela pressão que o avanço da cana exerce, como pela sua capacidade de intensificação.

Vale ainda salientar que o cenário de grande volume de exportação de etanol praticamente não gera expansão de área de cana-de-açúcar ou de qualquer outra lavoura na região Norte Amazônia (medido pela diferença de área entre o presente cenário e o cenário de otimização do rebanho). Dessa forma, uma vez realizadas as melhorias técnicas do cenário de otimização do rebanho, a redução nas áreas de pastagens proveniente da redução do rebanho bovino já foi suficiente para acomodar quase toda a expansão das culturas gerada no cenário de maiores exportações de etanol.⁷⁷

7.4 Cenário de Legalidade (reflorestamento de Reserva Legal)

As estimativas de necessidade de reflorestamento de Reserva Legal (RL) alcançaram cerca de 44 milhões de hectares, sendo que mais da metade deste total localiza-se na região Norte Amazônia (Tabela 68). Este fato é explicado principalmente pelo maior percentual de RL necessária no bioma Amazônia, 80% das propriedades.

Tabela 68: Necessidade de reflorestamento para cumprir Reserva Legal nas regiões do modelo, em mil hectares

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

Fonte: ICONE

A área alocada para o reflorestamento entre 2009 e 2030 será, em sua totalidade, acomodada pela área de pasto, que nesse período reduzirá aproximadamente 60 milhões de hectares, caindo de 203,6 em 2009 para 143,9 milhões de hectares em 2030 (Tabela 69). A redução da área de pastagens é resultado da melhoria dos índices zootécnicos provenientes do cenário de otimização do rebanho e da intensificação do pasto resultante da expansão das áreas das culturas e do restauro florestal.

A Tabela 69 mostra que, assim como a necessidade de reflorestamento será maior na região Norte Amazônia em 2030, a redução nas áreas de pastagens também será maior nessa região, caindo 25,3 milhões de hectares entre 2009 e 2030. Assim, devido à

⁷⁷ É importante lembrar que o cenário analisado considera a adoção progressiva da tecnologia de segunda geração no caso da cana-de-açúcar.

redução nas áreas de pastagens observada no período analisado, houve a necessidade de realocação do rebanho entre as regiões do modelo, de forma que o ganho de produtividade em todas as regiões fosse semelhante e compatível com a evolução observada no passado.

Tabela 69: Área de pastagens nas regiões do modelo em 2009 e 2030, em mil hectares, no Cenário de Reflorestamento de Reserva Legal

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

Fonte: ICONE

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

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

Cerrado e Mata Atlântica

Uma análise separada foi realizada para o cenário da legalidade nesses dois biomas, ou seja, onde as áreas de Reserva Legal sem cobertura vegetal nos biomas do Cerrado e da Mata Atlântica teriam sua vegetação restaurada à taxa de $1/_{22}$ do total disponível por ano até 2030.

A Tabela 70 apresenta os resultados sumarizados por estado. Os potenciais de remoção de CO₂ por hectare variam de 68,9 a 149,6 toneladas, observados nos Estados do Rio Grande do Norte e Paraná, respectivamente. Por unidade federativa, o potencial total por estado ficou entre Rio Grande do Norte (190.532 tCO₂) e Mato Grosso (261.904.694 tCO₂), enquanto que o total para o Brasil ficou em 1.053.723.278 tCO₂, a um custo de abatimento médio de US\$ 40,42.

Tabela 70: Apresentação dos resultados quantitativos por estado da Mata Atlântica e do Cerrado

Estado	tCO ₂ totais (2030)	tCO ₂ /ha	Valor nominal de investimento	Custo de abatimento (US\$/tCO ₂)	Break-even carbon price (US\$)
Alagoas	4.074.612	108,08	928.586.767	37,91	43,95
Bahia	10.896.586	108,06	2.483.712.919	37,91	43,96
Espírito Santo	7.820.631	91,39	2.107.755.900	44,83	51,97
Goiás	96.268.673	88,49	26.796.150.060	46,3	53,68
Maranhão	1.484.927	87,03	420.235.831	47,07	54,58
Mato Grosso	261.904.694	92,96	69.393.439.992	44,07	51,10
Mato Grosso do Sul	124.773.664	88,13	34.871.346.416	46,49	53,90
Minas Gerais	94.409.049	84,50	27.518.095.595	48,48	56,21
Paraíba	787.757	88,88	218.299.926	46,1	53,44
Paraná	99.308.662	149,60	16.350.124.781	27,39	31,75
Pernambuco	2.048.635	84,44	597.524.371	48,52	56,25
Rio de Janeiro	6.534.600	88,09	1.827.161.315	46,51	53,92
Rio Grande do Norte	190.532	68,90	68.113.435	59,47	68,94
Rio Grande do Sul	72.712.093	147,40	12.150.222.069	27,8	32,22
Rondônia	19.874.197	102,36	4.782.298.785	40,03	46,40
Santa Catarina	22.361.522	134,65	4.090.412.294	30,43	35,28
São Paulo	158.714.178	114,94	34.010.904.452	35,65	41,33
Sergipe	4.672.513	94,42	1.218.874.295	43,39	50,31
Tocantins	64.885.751	98,31	16.256.623.392	41,68	48,32
Total	1.053.723.278		256.089.882.598	40,42	46,87

7.5 Cenário agregado: Rebanho, Florestas de Produção, Etanol, Restauração Florestal

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

A Tabela 71 mostra a comparação dos resultados de uso do solo em todos os cenários analisados para o Brasil, para os anos de 2006, 2008 e 2030. Em comparação com o Cenário de Referência, o maior impacto sobre o uso do solo no cenário agregado ocorrerá sobre as áreas de pastagens, que passou de 207 para 138 milhões de hectares, no ano de 2030, respectivamente para cada cenário, com um rebanho de 208 milhões

de cabeças (Tabela 72). Quando comparado com o cenário de otimização do rebanho, no qual o rebanho é também de 208 milhões de cabeças, as áreas de pastagens foram inferiores em 52,3 milhões de hectares no ano de 2030. Esse resultado pode ser explicado pela maior demanda por terra proveniente dos cenários de etanol, florestas de produção e de legalidade. Isso implica em um ganho mais expressivo de produtividade nas pastagens para acomodar tal demanda, ou seja, o número de cabeças por hectare ou taxa de lotação cresceu significativamente em comparação com os Cenários de Referência e de otimização do rebanho.

Tabela 71: Comparação de resultados de uso do solo de todos os cenários para o Brasil

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

Fonte: ICONE

Tabela 72: Comparação de resultados de área de pastagens de todos os cenários para o Brasil e regiões

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

Fonte: ICONE

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

Um dos principais pontos a ser analisado neste cenário são os impactos sobre o uso do solo nas regiões consideradas no modelo. Nas regiões Norte Amazônia, Sudeste e Centro-Oeste, as áreas de pastagens serão, no período analisado, reduzidas em 25, 12 e 9 milhões de hectares, respectivamente, a partir dos dados da Tabela 73. Porém, as razões que levarão a essa redução são bem diferentes entre as regiões citadas. A Tabela 74 mostra os resultados regionais do uso do solo para alguns produtos selecionados.

Tabela 73: Resultados do rebanho bovino nos Cenários de Referência, otimização de rebanho e agregado (em mil cabeças)

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

Fonte: ICONE

Tabela 74: Resultados de uso do solo e rebanho para produtos selecionados no cenário agregado

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

Fonte: ICONE

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

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

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

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

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

Em resumo, pode-se dizer que o Cenário agregado de Baixo Carbono implica, além do crescimento zero da área total utilizada, em um processo mais intenso de redução das áreas de pastagens para absorver a expansão das áreas de agricultura, florestas de produção e reflorestamento em todas as regiões brasileiras, em especial no Sudeste e Centro-Oeste.

A Figura 62 compara, para os Cenários de Referência e agregado (rebanho-etanol-florestas-restauração), a evolução do uso do solo para os grãos (primeira safra), cana-de-açúcar, pastagens, florestas de produção e restauração florestal (este somente para o cenário agregado) de 2006 a 2030. Pode-se observar que, em resumo, enquanto o Cenário de Referência apresenta avanço de área total de agropecuária, no Cenário de Baixo Carbono agregado esta área total é congelada. Assim, todas as culturas e o reflorestamento expandem sobre as áreas de pastagens, necessitando de um processo mais expressivo de intensificação da pecuária. Vale destacar que a restauração florestal representa 21% da área agropecuária total (considerando as áreas das culturas mais pastagens).

Figura 62: Resultados do Cenário de Referência (gráfico à esquerda) e Cenário agregado de Baixo Carbono (gráfico à direita)



Fonte: ICONE

No arquivo em Excel anexo, nomeado “ICONE_CenarioBaixoCarbono_MicroRegioes.xls”, seguem os resultados do cenário agregado (rebanho-etanol-florestas-restauro) desagregados por microrregião brasileira. O arquivo possui uma aba para cada cultura considerada no modelo, incluindo o restauro florestal. Os resultados com as saídas do modelo, ou seja, nas 6 macrorregiões, estão no arquivo em Excel “ICONE_CenariosReferencia e Baixo Carbono_6macrorregioes.xls”.

8 Referências

ABRAF – ANUÁRIO ESTATÍSTICO DA ABRAF: ano base 2008 / ABRAF – Brasília, 2009.

ALCIDES, F. R. *Considerações Ecológicas Sobre Plantios de Eucalipto – Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil*, 23 a 28 de Setembro, 2007, Caxambu, MG.

ALENCAR, A. *et al.* Desmatamento na Amazônia: indo além da emergência crônica. Manaus, IPAM, 2004.

AliceWeb - Sistema de Análise das Informações de Comércio Exterior via Internet. Disponível em: <http://aliceweb.desenvolvimento.gov.br/>.

AMEND, M; GASCON, C; REID, J; SILVA J. M. C. da. Parks Produce Local Economic Benefits in Amazônia. Conservation Strategy Fund Report, 2005. Disponível em <<http://conservation-strategy.org/en/reports/reports>>. Último acesso em 12/05/2009.

AMS - ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA. Disponível em: <http://www.silviminas.com.br/>.

AMS – ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA. *Perspectivas e tendências do abastecimento de madeira para a indústria de base florestal no Brasil – Uma contribuição à construção e acompanhamento dos cenários futuros*. Minas Gerais. 2004. Disponível em: www.silviminas.com.br

AMTHOR, J.S. & HUSTOUN, M. 1998. Terrestrial Ecosystem Responses to Global change: A Research Strategy. ORNL/TM-1998/27. Oak Ridge National Laboratory.

ANDREAE, M. O. Biomass burning: Its history, use and distribution and its impact on environmental quality and global climate, *Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic and Biospheric Implications*, editado por J. S. Levine, pp. 3-21, MIT Press, Cambridge, Mass., 1991.

ANDREAE, M. O. Correlation between cloud condensation nuclei concentration and aerosol optical thickness in remote and polluted regions, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 543-556, 2009.

ANDREAE, M. O.; ROSENFELD, D.; ARTAXO, P.; COSTA, A. A.; FRANK, G. P.; LONGO, K. M.; SILVA-DIAS, M. A. F. Smoking rain clouds over the Amazon, 2004, *Science*, 303, pp. 1337-1342.

ANDREAE, M. O. e MERLET, P. Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. *Global Biogeochemical Cycles*, 2001, vol.15, no 4, pp. 955-966.

ARTAXO, P.; MARTINS, J. V.; YAMASOE, M. A.; PROCÓPIO, A. S.; PAULIQUEVIS T. M.; ANDREAE, M. O.; GUYON, P.; GATTI, L. V.; CORDOVA LEAL, A. M. Physical and chemical properties of aerosols in the wet and dry season in Rondônia, Amazonia. *Journal of Geophysical Research*, 2002, 107 (D20): 49.1-49.14

- ASSAD, E.; PINTO, H. Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil. EMBRAPA/UNICAMP: Campinas, 2008.
- ATLAS Solarimétrico do Brasil. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2000.
- AZEVEDO, T.; TOCANTINS, M. A. Instrumentos econômicos da nova proposta para a gestão de florestas públicas no Brasil. In: Megadiversidade. v.2.n.1-2.2006
- BEM 2006, Balanço Energético Nacional, Ministério de Minas e Energia.
- BERRY, E. X., Modification of the warm rain process, Proc. First. Natl. Conf. Weather Modification, Ed. American Meteorological Society, State University of New York, Albany, pp. 81- 88, 1968.
- BETIOL, L. S. 2008. Potenciais e Limites da Responsabilidade Civil como mecanismo econômico de proteção ao meio ambiente. 2008. 258f. Dissertação (Mestrado em Direito Civil) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo.
- BODDEY, R. M. ; SOARES, L.H.B. ; ALVES, B.J.R. ; URQUIAGA, S. Bio-Ethanol Production in Brazil. In: Pimentel, D. (Org.). Biofuels, Solar and Wind as Renewable Energy Systems. Berkeley: Springer, 2008, v. , pp. 321-356.
- BODDEY, R.M.; JANTALIA, C.P.; MACEDO, M.O.; OLIVEIRA, O.C.; RESENDE, A.S.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S. Potential of carbon sequestration in soils of the Atlantic Forest region of Brazil. In: Carbon sequestration in soils of Latin America. Haworth Press, Binghamilton. 2006. pp. 305-347.
- BONEZZI, C. B.; CALDEIRA-PIRES, A.; BRASIL JR., Antônio C. P. “Avaliação do Ciclo de Vida e a Competitividade Ambiental da Siderurgia no Brasil”. Disponível em: <http://www.intempres.pco.br/Intempres2000-2004/Intempres2004/Sitio/Ponencias/36.doc> Acessado em 17/06/2009.
- BONHAM-CARTER, G. Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS, Pergamon, New York, 1994. p. 414.
- BRASIL. BANCO DE DESENVOLVIMENTO DE MINAS GERAIS (BDMG). *Demonstrativo Oficial 2008*. Disponível em: <http://www.bdmg.mg.gov.br/>
- BRITO, José Otávio. *Carvão vegetal no Brasil: gestões econômicas e ambientais*. Estud. av. vol.4 n° 9 - São Paulo Mai/Ago. 1990.
- BRASIL. *Brazil's contribution to prevent climate change*. Brasília: Ministério das Relações Exteriores; Ministério da Ciência e Tecnologia; Ministério do Meio Ambiente; Ministério das Minas e Energia. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. 2007.
- BRASIL, EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Plano Nacional de Energia - PNE/2030**. 408 p. ISBN: 978-85-60025-02-2 Rio de Janeiro. 2007. Disponível em <<http://www.epe.gov.br>>. Acesso em 5 dezembro 2007.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Plano de metas do PNF 2004-2007*. Disponível em: www.mma.gov.br.
- BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira – PROBIO**. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/portallbio>>. Acesso em 23 de março de 2008.

- BROWN, S., & LUGO, A.E. 1982. The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in the global carbon cycle, *Biotropica* 14:161-187.
- BROWN, S., & LUGO, A.E. 1984. Biomass of tropical forests: A new estimate based on forest volumes, *Science*. 223:1290-1293.
- BROWN, S., & LUGO, A.E. 1992. Aboveground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon, *Interciencia*. 17:8-18.
- BROWN, S.; GILLESPIE, A.J.R. & LUGO, A.E. 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science*. 35:881-902.
- BROWN, S.; IVERSON, L.R.; PRASAD, A. & LIU, D. 1993. Geographical distributions of carbon in biomass and soils of tropical Asian forests. *Geocarto International*. 4:45-59.
- CAIT-WRI, World Resource Institute. 2007. Disponível em <<http://archive.wri.org>>
- CANALLI, B.L. Desafios para adoção e permanência em SPD. Anais do 8º Encontro de Plantio Direto no Cerrado, 28/06 a 01/07 2005, Tangará da Serra, MT. Editora Sanches: Tangará da Serra, MT. P. 101-107. 2005.
- CASTRO, L. F. A.. *Produção de Gusa em Altos-Fornos a Carvão Vegetal e a Coque. Relatório Técnico*. UFMG/ Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. Belo Horizonte, Julho de 2000.
- CATHARINO, E.L.M.; BERNACCI, L.C.; FRANCO, G.A.D.C.; DURIGAN, G. & MEZTGER, J.P. 2005. Aspectos da composição e diversidade do componente arbóreo das florestas da Reserva Florestal do Morro Grande, Cotia, SP. *Biota Neotropica*. 6(2).
- CCAP. 2006. Greenhouse gas mitigation in Brazil: scenarios and opportunities through 2025. Center for Clean Air Policy – COPPE.
- CERRI, C. E. P.; SPAROVEK, G.; BERNOUX, Martial; EASTERLING, W.E.; MELLILO, Jerry M; CERRI, Carlos Clemente. Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigation options. *Scientia Agricola*, v. 64, pp. 83-99, 2007.
- COE, M. C., M. Soares-Filho, B.S. The influence of historical and potential future deforestation on the stream flow of the Amazon River – Land surface processes and atmospheric feedbacks. *Journal of Hydrology*, 2009.
- COLEMAN, K., JENKINSON, D. S., CROCKER, G. J., GRACE, P. R., KLÍR, J., KÖRSCHENS, M., POULTON, P. R.; RICHTER, D. D. Simulating trends in soil organic carbon in long-term experiments using RothC-26.3. *Geoderma*, v. 81, pp. 29-44, 1997.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Central de informações agropecuárias – safras**. Disponível em <<http://www.conab.gov.br/conabweb/index.php?PAG=1012008>>. Acesso em 3 de junho de 2008.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. www.conab.org.br.
- CONCAWE, 2004, Well to wheels analysis of future automotive fuels and Powertrains in the European context, January, 2004, 60 pg.
- COTTON, W. and Pielke, R. Human impacts on weather and climate, Cambridge University Press, New York, 1996.

- DE MARIA I. C. Erosão e terraços em plantio direto. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, volume 24, 1999, pp. 17-21.
- DERPSCH, R. Agricultura sustentável. In: SATURNINO, H.M.; LANDERS, J.N. (Ed.). O meio ambiente e o plantio direto. Goiânia: Embrapa, SPI, 1997. pp.29-48.
- DIEKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D. P.; KNABNER, I. K. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilization in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 81, pp.87-95, 2005.
- DISLICH, R.; CERSÓSIMO, L.& MANTOVANI, W. 2001. Análise da estrutura de fragmentos florestais no Planalto Paulistano – SP. *Revista Brasileira de Botânica*. 24(3):321-332.
- EBAMM Release 1.0, 2005, The ERG biofuels analysis meta-model.
- EC, 2008, European Commission Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the Promotion of the Use of Energy from Renewable Sources, 2008/0016 (COD).
- EMBRAPA. 1999. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro. 412 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema de monitoramento agrometeorológico - Agritempo**. Disponível em <<http://www.agritempo.gov.br>>. Acesso em fevereiro de 2008.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Aquecimento Global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil**. 83p. Posigraf. Agosto 2008.
- EPE, 2008, Empresa de Pesquisa Energética, Plano Nacional de Energia 2030, PNE 2030.
- EVA *et al.*, 2004; (MACHADO *et al.*, 2004), while the ongoing deforestation is around 16,000 km² a year (Ferreira *et al.*, 2007a).
- EVA, H. D., BELWARD, A. S., MIRANDA, E. E. de, di BELLA, C. M., GOND, V., HUBER, O., JONES, S., SGRNZAROLI, M., & FRITZ, S. (2004). A land cover map of South America. *Global Change Biology* 10, pp. 731-744.
- FAO 2001. FAOCLIM 2.0 A World-Wide Agroclimatic Database. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Roma, Itália.
- FARR, T. G., *et al.* 2007. The Shuttle Radar Topography Mission. *Rev Geophys*. 45, RG2004, doi:10.1029/2005RG000183.
- FEARNSIDE, P. M.; BARBOSA, R. I. Soil carbon changes from conversion of forest to pasture in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 108, n. 1-2, pp. 147-166, 1998 Federal Register, 2009, 40 CFR Part 80, Part II, Vol. 74, Nº 99, May 26, 2009.
- FERREIRA, N. C., FERREIRA, L. G., HUETE, A. R., & FERREIRA, M. E. (2007b). An operational deforestation mapping system using MODIS data and spatial context analysis. *International Journal of Remote Sensing* 28, pp. 47-62.

FREITAS, S. R.; LONGO, K. M.; SILVA DIAS, M.; SILVA DIAS, P.; CHATFIELD, R.; PRINS, E.; ARTAXO, P.; Grell, G.; Recuero, F. Monitoring the transport of biomass burning emissions in South America. *Environmental Fluid Mechanics*, 2005, 5 (1-2), 135 – 167. p.doi: 10.1007/s10652-005-0243-7.

FREITAS, S. R.; LONGO, K. M.; ANDREAE, M. Impact of including the plume rise of vegetation fires in numerical simulations of associated atmospheric pollutants. *Geophysical Research Letters*, 2006, 33, L17808, doi:10.1029/2006GL026608.

FREITAS, S. R.; LONGO, K.; DIAS, M.; CHATFIELD, R.; DIAS, P.; ARTAXO, P.; ANDREAE, M.; GRELL, G.; RODRIGUES, L.; FAZENDA, A.; PANETTA, J. The Coupled Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (CATTBRAMS). Part 1: Model description and evaluation. *Atmospheric Chemistry and Physics. Discussion Paper*, 2007, pp. 8525-8569.

FISHER, M. J.; BRÁZ, S. P.; SANTOS, R. S. M.; URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R. M. Another dimension to grazing systems: Soil carbon. *Tropical Grasslands*, v. 41, pp. 65-83, 2007.

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

Fundação SOS Mata Atlântica – SOSMA: Atlas de remanescentes. 2005. Disponível em <www.sosma.org.br>.

FURRIELA, R. B. 2005 Introdução às Mudanças Climáticas Globais. São Paulo.

GASSEN D.; GASSEN F. Plantio Direto, o caminho do futuro. Passo Fundo: Aldeia Sul, 1996, p. 207.

GOMES, B.Z.; MARTINS, F.R. & TAMASHIRO, J.Y. 2004. Estrutura do cerradão e da transição entre cerradão e floresta paludícola num fragmento da International Paper do Brasil Ltda., em Brotas, SP. *Revista Brasileira de Botânica*. 27(2):249-262.

GREENLAND, D.J.; WILD, A.; ADAMS, D. Organic matter dynamics in soils of the tropics-from myth to complex reality. In: Lal, R.; Sanchez, P.A. (eds.) *Myths and science of soils of the tropics*. Madison: SSSA Spec., 1992. pp.17-34. (Pub. 29).

GREET 1.6 Greenhouse gases, regulated emissions and energy use in transportation, Argonne National Laboratory, Argonne, Illinois, USA.

GRELL, G. e DEVENYI, D. A generalized approach to parameterizing convection combining ensemble and data assimilation techniques. *Geophysical Resource Letters*, 2002, 29, 14, 1693.

GRUBER, N; FRIEDLINGSTEIN, P.; FIELD, C.B.; VALENTINI, R.; HEINMANN, M.; RICHEY, J.E.; LANKAO, P.R.; SCHULZE, E.D.; CHEN, C.T.A. The vulnerability of the carbon cycle in the 21st century: An assessment of carbon-climate-human interactions. In: *The Global Carbon Cycle* (C.B. Field and M.R.Raupach, eds). *Scope*, nº 62. Island Press, Washington D.C. 2004, pp. 45-76.

HAHN, C. M. et al. 2004. Recuperação florestal: da muda à floresta. São Paulo: SMA.

HANAOKI, M., T. ITO, M. SAIGUSA. Effect of no-tillage rice (*Oryza sativa* L.) cultivation on methane emission in three paddy fields of different soil types with rice straw application. *Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr.* 73: 135-143. 2002.

HARADA, N., S. OTSUKA, M. NISHIMURA, S. MATSUMOTO. Influences of indigenous phototrophs on methane emissions from a straw-amended paddy soil. *Biol. Fertil. Soils* 41: 46-51. 2005

HIJMANS R., CAMERON, S., PARRA, J., JONES, P. & JARVIS, A. 2005. A very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climatol.* 25: 1965-1978.

HOLDRIDGE, L. 1967. *Life Zone Ecology*. Tropical Science Center, San Jose, Costa Rica.

HOUGHTON, R. A.; SKOLE, D. L.; NOBRE, C. A.; HACKLER, J. L.; LAWRENCE, K. T., and CHOMENTOWSKI, W. H. 2000. "Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon". *Nature* 403: 301-304.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.

Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/>

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo Agropecuário: 1995-1996*. Rio de Janeiro, 1996. Disponível em: www.ibge.gov.br

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo Agropecuário: 2006*. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: www.ibge.gov.br

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Produção da extração vegetal e da silvicultura 2003, volume 18*. Rio de Janeiro. Disponível em: www.ibge.gov.br

IBGE 2006. Mapa de fertilidade de solos do Brasil. 1:5.000.000. IBGE.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. www.ibge.com.br.

IBS - Instituto Brasileiro de Siderurgia. Disponível em: <http://www.ibs.org.br/index.asp>.

IEA, 2008, International Energy Agency, *Energy Technology Perspectives 2008*.

IEA, 2009, International Energy Agency, <http://www.iea.org>

IISI - International Iron and Steel Institute. Disponível em: <http://www.worldsteel.org/>.

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

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

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura 2007**. Disponível em <<http://www.sidra.ibge.gov>>.

br/bda/acervo/acervo2.asp?ti=1&tf=99999&e=v&p=VS&z=t&o=17>. Acesso em 9 de setembro de 2008c.

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

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Relatório de Gestão. São José dos Campos, 2009. Disponível em <<http://www.inpe.br/dspace/bitstream/123456789/896/11/RG2008.pdf>>. Último acesso em 12/05/2009.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. (2009). Projeto DEGRAD (Mapeamento da Degradação Florestal na Amazônia). Disponível em <<http://www.obt.inpe.br/deggrad/>>. Último acesso em 12/05/2009.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. (2009). Projeto DEGRAD (Mapeamento da Degradação Florestal na Amazônia). Disponível em <<http://www.obt.inpe.br/deggrad/>>. Último acesso em 12/05/2009.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. (2009). PRODES (Programa de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia). Disponível em <<http://www.obt.inpe.br/prodes/>>. Último acesso em 12/05/2009.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Good practice guidance for land use, land use change and forestry. (2003) Disponível em <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf.html>>

Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. IPCC Special Report: Land Use, Land-Use Change and Forestry. (2000). Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/srl-en.pdf>> Acesso em 11/05/2009. ISBN: 92-3169-114-3.

IPCC. International Panel on Climate Change. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Reference Manual, <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl>>. 2006.

IPCC. International Panel on Climate Change. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Reference Manual, 1996.

IPCC, 2001, Climate Change 2001: The scientific basis. Contribution of the Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

IWAUNASKAS, N.M.; RODRIGUES, R.R. & NAVE, A.G. 1999. Fitossociologia de um trecho de floresta estacional semidecidual em Itatinga – SP, Brasil. Scientia Florestalis. 56:83-99.

IVERSON, L. R., BROWN, S., PRASAD, A., MITASOVA, H., GILLESPIE, A.J.E. & LUGO, A.E. 1994. Use of GIS for Estimating Potential and Actual Forest Biomass for Continental South and Southeast Asia. Effects of Land-Use Change on Atmospheric CO₂ Concentrations. Springer-Verlag.

JACOBSON, M. Z. Strong Radiative Heating due to the Mixing State of Black Carbon in Atmospheric Aerosols. Nature, vol. 409, pp. 695-697, 2001.

JANK, M.S., 2008, An overview of the Brazilian sugarcane industry, Apresentação feita na Better Sugarcane Initiative General Assembly, São Paulo, SP, 13 de novembro de 2008.

JANTALIA, C.; RESCK, D.; ALVES, B.; ZOTARELLI, L.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. Tillage effect on C stocks of a clayey Oxisol under a soybean-based crop rotation in the Brazilian Cerrado region. *Soil & Tillage Research*, v. 95, pp. 97-109, 2007

JANTALIA, C.P.; VILELA, L.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M.; URQUIAGA, S. Influência de pastagens e sistemas de produção de grãos no estoque de carbono e nitrogênio em um Latossolo Vermelho. *Seropédica: Embrapa Agrobiologia*. 2006a, 50 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 11).

JANTALIA, C.P.; ZOTARELLI, L.; SANTOS, H. P. dos; TORRES, E.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M.; ALVES, B.J.R. Em Busca da Mitigação da Produção de Óxido Nitroso em Sistemas Agrícolas: Avaliação de Práticas Usadas na Produção de Grãos no sul do País. In: Bruno J. R. Alves; Segundo Urguiaga; Celso Aita; Robert Michael Boddey; Claudia P. Jantalia; Flávio A. O. Camargo. (Org.). *Manejo de Sistemas Agrícolas: Impacto no Sequestro de C e nas Emissões de Gases de Efeito Estufa*. 1ª ed. Porto Alegre: Genesis, 2006b, pp.81-108.

JANTALIA, C.P., RESCK, D.V.S., ALVES, B.J.R., ZOTARELLI, L., URQUIAGA, S., BODDEY, R.M. Tillage effect on C stocks of a clayey Oxisol under a soybean-based crop rotation in the Brazilian Cerrado region. *Soil & Tillage Research* 95, 97–109. 2007.

LÆGREID, M.; BØCKMAN, O.C.; KAARSTAD, O. Agriculture, fertilizers and the environment. Wallingford: CABI, 1999, 320 p. José, F. J. A., 2009, comunicação pessoal. Jones, P.G. & Gladkov, A. 2003. FloraMap. A Computer Tool for Predicting the distribution of Plants and Other Organisms in the Wild. Version 1.02. Centro Internacional de Agricultura Tropical: Cali, Colômbia.

JUVENAL, T. L.; MATTOS, R. L. G. *O setor florestal no Brasil e a importância do reflorestamento*. Rio de Janeiro: BNDES, 2002. Disponível em: www.bndes.gov.br

KAUFMAN, Y. J. Remote Sensing of Direct and Indirect Aerosol Forcing. *Aerosol Forcing of Climate*. Ed. by R. J. Charlson and J. Heintzenberg, John Wiley & Sons Ltd., 1995.

KOREN, I.; KAUFMAN Y.; REMER, L. A.; MARTINS, J. V. Measurement of the Effect of Amazon Smoke on Inhibition of Cloud Formation, *Science*, 2004, 303, 1342-1345.

LAMAS, M. P. Manejo cultural do algodoeiro nas condições do Cerrado. In: *O Agronegócio do Algodoeiro no Brasil*. (N.E.M. Beltrão & D.M.P. Azevedo, eds). Volume 2, 2ª Edição. Brasília, DF, Embrapa Informação Tecnológica, 2008. pp. 621 - 648.

LAURANCE, W.F.; FEARNSIDE, P.M.; LAURANCE, S.G.; DELAMONICA, P.; LOVEJOY, T.E.; MERONA, J.M.R.; CHAMBERS, J.Q. & GASCONA, C. 1999. Relationship between soils and Amazon forest biomass: a landscape-scale study. *Forest Ecology and Management* 118:127-138

LEAL, M.R.L.V. *Uso do bagaço e palha para produção de etanol e energia*, F.O. Licht Ethanol Production Workshop, São Paulo, SP, 23 de março de 2009.

LEITE, N. B.. *O setor florestal no Brasil*. In: A QUESTÃO FLORESTAL E O DESENVOLVIMENTO, 8-9 jul. 2003, Rio de Janeiro. BNDES, Rio de Janeiro, 2003. Seminário. Disponível em: www.bndes.gov.br.

LIMA, A.M.N.; SILVA, I.R.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; MENDONÇA, E.S.; DEMOLINARI, M.S.M.; LEITE, F.P. Frações da matéria orgânica do solo após três décadas de cultivo de eucalipto no Vale do Rio Doce-MG. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. vol.32, n.3, pp. 1053-1063. 2008.

LIMA, M.A. Relatório Técnico Final do Projeto “Emissão de metano em sistemas de produção de arroz irrigado: quantificação e análise”, período 2000 a 2004. Embrapa Meio-Ambiente: Jaguariúna. 2009.

LONGO, K. M.; FREITAS, S. R.; SILVA DIAS, M.; SILVA DIAS, P. Numerical modeling of the biomassburning aerosol direct radiative effects on the thermodynamics structure of the atmosphere and convective precipitation. In: International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography (ICSHMO), 8., 2006, Foz do Iguaçu. Proceedings. São José dos Campos: INPE, 2006. pp. 283-289. CD-ROM. ISBN 85-17-00023-4.

LONGO, K. M.; Freitas, S. R., et al. The Coupled Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System. Part 2: Model sensitivity to the biomass burning inventories. *Atmospheric Chemistry and Physics. Discussion Paper*, 2007, pp. 8571-8595.

MACEDO, I.C.; LEAL, M.R.L.V.; SILVA, J.E.A.R. da, 2004, Balanço das emissões de gases do efeito estufa na produção e no uso do etanol no Brasil, Relatório submetido à Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, Abril de 2004, 37 pg.

MACEDO, I.C.; SEABRA, J.E.A.; SILVA, J.E.A.R. da, 2008, Green house gas emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: The 2005/2006 averages and the prediction for 2020, *Biomass & Bioenergy*, 2008.

MACEDO, M.C.M. 1995. Pastagens no ecossistema cerrados. In: SIMPÓSIO SOBRE PASTAGENS NOS ECOSSISTEMAS BRASILEIROS: pesquisas para o desenvolvimento sustentável, 1995, Brasília. Anais. Brasília: SBZ, pp. 28-62.

MACEDO, M.C.M., ZIMMER, A.H. Sistema de Pasto-Lavoura e seus efeitos na produtividade agropecuária. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMA DE PASTAGENS. 1993. Jaboticabal, SP. Anais. Jaboticabal, 1993. pp. 217-245.

MACHADO, R. B., RAMOS NETO, M. B., PEREIRA, P. G. P., CALDAS, E. F., GONÇALVES, D. A., SANTOS, N. S., TABOR, K., & STEININGER, M. (2004). *Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro*. [technical report]. Brasília-DF, Brasil: Conservation International.

MADDOCK, J.; SANTOS, M. dos; PRATA, K.. Nitrous oxide emission from soil of the Mata Atlantica, Rio de Janeiro State, Brazil, *J. Geophys. Res.*, 106(D19), 23055-23060. 2001.

MATTOSO, M.J., CRUZ, J.C., PEREIRA FILHO, I.A. Custo de produção em plantio direto. *Informe Agropecuário*, v. 22, pp. 109-116. 2001.

Malhi, Y.J., *et al.* Climate Change deforestation and the faith of the Amazon. *Science*, 319: 169-172, 2008.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br>

MARENGO J.A., *et al.* The drought of Amazonia in 2005. *J. Clim.*, 21, 495-516, 2008.

MARGULIS, S. Causas do desmatamento na Amazônia brasileira. 1ª ed. Brasília: Banco Mundial, 2003.

MARTINS, O.S. 2004. Determinação do potencial de remoção de carbono na recuperação de matas ciliares na região de São Carlos, SP. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de São Carlos. 136 p.

MASERA, O.R. *et al.* 2003. Modeling carbon sequestration in afforestation, agroforestry and forest management projects: the CO₂FIX V.2 approach. *Ecological Modelling* 164:177–199.

McKINSEY & Company, 2009, Pathway to a low-carbon economy for Brazil, Report, 46 p.

Ministério de Ciência e Tecnologia - MCT. Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de GEE: emissões e remoções de dióxido de carbono por conversão de florestas e abandono de terras cultivadas. Brasília, 2004.

Ministério do Meio Ambiente - MMA. Plana Amazônia Sustentável. Brasília, 2008.

MIRANDA, E. E.; (Coord.). 2005. Brasil em Relevô. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite.

MORAES, R.J.; AZEVEDO, MM.G.L.; DELMANTO, F.M.A. 2005. As leis federais mais importantes de proteção ao meio ambiente comentadas. Rio de Janeiro: Renovar.

NEPSTAD, D. *et al.* 2007. Manejo e recuperação de mata ciliar em regiões florestais da Amazônia. Série Boas Práticas. Livro 1. Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia.

MOSIER, A. R.; WASSMANN, E.; VERCHOT, L.; KING, J.; PALM, C. Methane and nitrogen oxide fluxes in tropical agricultural soils: sources, sinks and mechanisms. *Environment, Development and Sustainability*, v. 7, pP. 11-49, 2004.

NAKICENOVIC, N., GRÜBLER, A., McDONALD, A., 1998, *Global energy perspectives*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1998.

NEPSTAD, D. *et al.* The Costs and Benefits of Reducing Carbon Emissions from Deforestation and Forest Degradation in the Brazilian Amazon. Woods Hole: WHRC, 2007. v. 1. 26 p.

NEPSTAD, D. *et al.* Globalization of the Amazon Soy and Beef Industries: Opportunities for Conservation. In: *Conservation Biology*, v. 6 n. 20, pp. 1595-1603, 2006.

NIPE, 2005, Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético da UNICAMP, Estudo sobre as possibilidades e impactos da produção de grandes quantidades de etanol visando a substituição parcial de gasolina no mundo – Fase 1, Relatório para o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), Coordenado pelo dr. Rogério Cezar de Cerqueira Leite, Dezembro de 2005.

NIPE, 2007, Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético da UNICAMP, Estudo sobre as possibilidades e impactos da produção de grandes quantidades de etanol visando a substituição parcial de gasolina no mundo – Fase 2, Relatório para o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), Coordenado pelo dr. Rogério Cezar de Cerqueira Leite, Março de 2007.

NOBRE, C. A., P. J. SELLERS, and J. Shukla. 1991. Amazonian deforestation and regional climate change. *J. Climate* 4, pp. 957-988.

NOBRE, *et al.* Amazônia: Fonte ou Sumidouro de Carbono? Causas e dinâmica do desmatamento na Amazônia. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2001, 436 p.

NREL, 2002, Lignocellulosic Biomass to Ethanol Process Design and Economics Utilizing Co-Current Dilute Acid Prehydrolysis and Enzymatic Hydrolysis for Corn Stover, Report NREL/TP-510-32438, prepared by Adem, A., Ruth, M., Ibsen, K., Jechura, J., Neeves, Sheeran, J. and Wallace from NREL and Montague, L. Slayton, A. and Lukas, J. from Harris Group.

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

OLIVÉRIO, J.L., 2007, As Usinas de Açúcar e Álcool – Estado da Arte da Tecnologia Industrial, Congresso Internacional de Agroenergia e Biocombustíveis, Teresina, PI, 13 de julho de 2007.

PIMENTEL, D. CRC Handbook of energy utilization in agriculture. Boca Raton: CRC Press. 1980, 475 p.

Plano Anual de Outorga Florestal – PAOF 2009. Brasília: MMA/ Serviço Florestal Brasileiro, 2008. 111f.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Decreto nº 6.527 de 1º de agosto de 2008. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6527.htm>. Último acesso em 09/05/2009.

PNMC - Plano Nacional de Mudanças sobre o Clima (versão para consulta pública). Disponível em: <<http://www.forumclima.org.br/arquivos/plano-nacional-mc.pdf>>. Último acesso em 13/05/2009.

ROCHETTE, P. No-till only increases N₂O emissions in poorly-aerated soils. *Soil & Tillage Research*, v. 101, pp. 97–100, 2008.

Rodrigues, J.E.R. 2005. Sistema Nacional de Unidades de Conservação. São Paulo: Ed. Revista dos Tribunais.

RODRIGUES, *et al.* Dinâmica EGO, uma plataforma para modelagem de sistemas ambientais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2007.

SAATCHI, S.S.; HOUGHTON, R.A.; ALVALÁ, R.C.S.; SOARES, J.V. & YU, Y. 2007. Distribution of Aboveground Live Biomass in the Amazon Basin. *Global Change Biology*. Accepted article online: 24-Jan-2007

SAATCHI, S.S.; HOUGHTON, R. A.; SANTOS, R. C. dos; SOARES, J. V.; YU, Y. 2007. Distribution of Aboveground Live Biomass in the Amazon Basin. *Global Change Biology*, 13, 816–837.

SAMPAIO, G.; NOBRE, C.; COSTA, M.; SATYAMURTY, P.; SOARES-Filho, B. S.; CARDOSO, M. 2007. Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. *Geophysical Research Letters* 34. doi:10.102.

SANCHEZ, P.A. Properties and management of soils in the tropics. New York: John Wiley & Sons, 1976. 618p.

SATURNINO, H. M.; LANDERS, J. N. O Meio Ambiente e o Plantio Direto. Goiânia: APDC, 1997. 116 p.

SEMAD – Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <http://www.semad.mg.gov.br/>

SILVA, R.R., *et al.* Regional impacts of future land-cover changes on the Amazon Basin wet season climate. *J. Clim.*, 21 (6), pp. 1153-1170.

SINDIFER - Sindicato das Indústrias de Ferro de Minas Gerais. Disponível em: <http://www.sindifer.com.br/inst.html>.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P dos; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. *Biology and Fertility of Soils*, Amsterdam, v. 76, pp. 39-58, 2004.

SMITH, K.A.; CONEN, F. Impacts of land management of fluxes of trace greenhouse gases. *Soil Use and Management*, 20:255-263. 2004.

SMITH, P., D. MARTINO, Z. CAI, D. GWARY, H. JANZEN, P. KUMAR, B. MCCARL, S. OGLE, F. O'MARA, C. RICE, B. SCHOLLES, O. SIROTENKO, 2007: Agriculture. In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

SOARES, J.J.; SILVA, D.W. & LIMA, M.I.S. 2003. Current state and projection of the probable original vegetation of the São Carlos region of São Paulo State, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*. 63(3):527-536.

SOARES, L.H.B.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M.. Mitigação dos gases de efeito estufa pelo uso de etanol de cana-de-açúcar produzido no Brasil. *Embrapa Agrobiologia. Circular Técnica* nº 27. Seropédica, RJ. 14 p. 2009.

SOARES-FILHO, *et al.* Cenários de desmatamento para a Amazônia. *Estudos Avançados*, São Paulo, v.19, nº 54, pp.138-152, 2005.

SOARES-FILHO, *et al.* Nexos entre as dimensões socioeconômicas e o desmatamento: a caminho de um modelo integrado. In: Batistela, M. *et al* (org.): *Amazônia. Natureza e Sociedade em Transformação*. Edusp. São Paulo, 2008.

SOARES-FILHO, *et al.* Redução das emissões de carbono do desmatamento no Brasil: o papel do programa Áreas Protegidas da Amazônia (ARPA). (em revisão), 2008b.

SOARES-FILHO, *et al.* Reduction of carbon emissions associated with deforestation in Brazil: the role of the amazon region protected areas program (ARPA). Brasília: IPAM, 2008. v. 1. 32 p. <<http://www.climaedesmatamento.org.br/biblioteca>>

SOARES-FILHO, *et al.* (2009). Projeto Dinâmica EGO. Disponível em <<http://www.csr.ufmg.br/dinamica/>> último acesso em 13/05/2009.

SOUSA, E.L., 2008, A importância do etanol e da cogeração na atual matriz energética brasileira, Apresentação feita em reunião do Tribunal de Contas da União, Brasília, DF, 12 de novembro de 2008.

Teixeira, A. M. *et al.* Modeling Landscape dynamics in the Atlantic Rainforest domain: Implications for conservation. *Forest Ecology and Management* 257, pp. 1219–1230, 2009.

UNH, 2007. R-Hydronet: A Regional, Electronic Hydrometeorological Data Network for South America, Central America, And The Caribbean. Water Systems Analysis Group, Universidade de New Hampshire.

UNRUH, G. C. Understanding carbon lock-in. *Energy Policy*, 28 (12): 817-830, 2000.

URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Produção de biocombustíveis - A questão do balanço energético. *Revista de Política Agrícola*, Brasília, DF, v. AnoXIV, nº 5, pp. 42-46, 2005.

USDOE, 2005, US Department of Energy, Clean Cities Initiative Fact Sheet, April 2005, 2 pg.

VALVERDE, S. R. *Plantações de Eucalipto no Brasil*. *Revista da Madeira*, nº 7, 18 de setembro de 2007. van den WALL BAKE, J.D., 2006, Cane as key in Brazilian ethanol industry, Master Thesis, Utrecht University, 2006.

Veloso, H.P.; Rangel FILHO, A.L.R. & LIMA J.C.A. 1991. Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal. São Paulo: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. 123 p.

VOSE, R.S.; SCHMOYER, R.L.; STEURER, P.M.; PETERSON, T.C.; HEIM, R. KARL, T.R., EISCHEID, J.K. 1992. The Global Historical Climatology Network: Long-term monthly temperature, precipitation, sea level pressure, and station pressure data. Oak Ridge National Laboratory, Carbon Dioxide Information Analysis Center.

WALKO, R.; BAND, L.; BARON, J.; KITTEL, F.; LAMMERS, R.; LEE, T.; OJIMA, D.; PIELKE, R.; TAYLOR, C.; TAGUE, C.; TREMBACK, C.; VIDALE, P. Coupled Atmosphere-Biophysics-Hydrology Models for Environmental Modeling. *Journal Applied Meteorology*, 2000. 39: (6) pp. 931-944.

WALTER, A.; ROSILLO-CALLE, F.; DOLZAN, P.; PIACENTE, E.; CUNHA, K. B. **Perspectives on fuel ethanol consumption and trade**. *Biomass and bioenergy*, 23 (2008) pp. 730-748. Disponível em www.elsevier.com/locate/biombio. Acesso em 8 de junho de 2008.

WALTER, A.S., ROSILLO-CALLE, F., DOLZAN, P., PIACENTE, E., Cunha, K.B. da, 2008, Perspectives on ethanol consumption and trade, *Biomass & Bioenergy*, 2008.

WALTER, A.S., DOLZAN, P., QUILODRÁN, O., GARCIA, J., SILVA, C. da, PIACENTE, F. and SEGERSTEDT, A., 2008, A sustainability analysis of the Brazilian ethanol, Report to the UK Embassy in Brasilia.

WASSMANN, R. LANTIN, R. S., NEUE, H. U., BUENDIA, L. V., CORTON, T. M.; LU, Y. Characterization of Methane Emissions from Rice Fields in Asia. III. Mitigation Options and Future Research Needs Nutrient Cycling in Agroecosystems 58: 23–36, 2000.

WECK, J. 1970. An improved CVP-index for the delimitation of the potential productivity zones of forest lands of India, Indian Forester. 96:565-572.

WHITMORE, T.C. 1984. Tropical Rain Forests of the Far East, 2nd edition, Oxford Science Publications, Clarendon Press, Oxford.

WMO 1996. Climatological Normals (Climo) for the Period 1961-1990.

XAVIER, R.P. Contribuição da fixação biológica de nitrogênio na produção sustentável de cana-de-açúcar. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica: UFRRJ, 114p., 2006.

XIANG P.; HUANG H.; HUANG, M.; GAN, D.X.; ZHOU, Y.; FU, Z. Studies on Technique of Reducing Methane Emission in a Rice-Duck Ecological System and the Evaluation of Its Economic Significance Agricultural Sciences in China, 5: 758-766, 2006.

ZINN, Y.L.; LAL, R. ; RESCK, D.V.S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. Soil & Tillage Research, v. 84, pp. 28-40, 2005.

Legislação:

BRASIL. Presidência da República. Lei nº 4771, 15 de setembro, 1965. Disponível em: www.planalto.gov.br. Acessado em: 26 de agosto, 2005.

BRASIL. Presidência da República. Lei nº 5106, 2 de setembro, 1966. Disponível em: www.planalto.gov.br. Acessado em: 26 de agosto, 2005.

BRASIL. Assembleia Nacional Constituinte. *Constituição da República Federativa do Brasil*, 5 de outubro de, 1988. Disponível em: www.planalto.gov.br. Acessado em: 29 de agosto, 2005.

BRASIL. Presidência da República. Decreto nº 97.628, 10 de abril, 1989.

BRASIL. Governo do Estado de Minas Gerais. Lei nº 10.561, 27 de dezembro, 1991. Disponível em: www.ief.mg.gov.br. Acessado em: 09 de setembro, 2005.

Constituição Federal do Brasil http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constitui%C3%A7ao.htm

Lei Federal nº 4.771/1965 – Código Florestal http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L4771.htm

Lei Estadual de Mudanças Climáticas nº 3.135 de 04 de junho de 2007. Manaus: Assembleia Legislativa. Disponível em < http://www.florestavivaamazonas.org.br/download/Lei_est_n_3135_de_050607.pdf >

Lei Federal nº 6.938/1981 – Lei da Política Nacional do Meio Ambiente http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm

Lei Federal nº 9.985/2000 – Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9985.htm

Lei Federal nº 11.284/2006 – Lei de Gestão de Florestas Públicas <http://www.planalto.gov.br/CCIVIL/ Ato2004-2006/2006/Lei/L11284.htm>

Lei Federal nº 11.428/2006 – Lei da Mata Atlântica http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ Ato2004-2006/2006/Lei/L11428.htm

Sites e documentos eletrônicos consultados:

<http://www.cgee.org.br/publicacoes/MudancaDoClima.php>

<http://www.acr.org.br/arquivos2/14.pdf>

<http://www.cepea.esalq.usp.br/economiaambiental/files/2005/04abr.pdf>

<http://www.mct.gov.br>

<http://www.sectma.pb.gov.br/comites/rbma/pdf/cad3.pdf>

<http://www.cnpma.embrapa.br>

http://www.mct.gov.br/upd_blob/0012/12919.pdf

http://unfccc.int/meetings/cop_13/items/4049.php

<http://www.bndes.gov.br/programas/agropecuarios/pronaf.asp>

<http://www.bndes.gov.br/programas/agropecuarios/propflora.asp>

http://www.integracao.gov.br/fundos/fundos_constitucionais/index.asp

<http://www.mma.gov.br/sitio/index.php?ido=conteudo.monta&idEstrutura=51>

<http://www.mma.gov.br/sitio/index.php?ido=conteudo.monta&idEstrutura=5>



BANCO MUNDIAL