

As florestas e o painel de mudanças climáticas da ONU

André Luiz F. Lemos
Marcos H. F. Vital
Marco Aurélio Cabral Pinto*

Resumo

Mudanças climáticas globais passaram do *status* de previsões científicas ao de concreta e presente realidade, seja de países ricos ou pobres, independentemente de suas ideologias políticas, da força de seus Estados-nação ou de suas trajetórias históricas. Fazem-se prementes políticas de geoen engenharia climática (como a redução de emissões, a absorção de CO₂ ou a elevação dos níveis de reflexividade da terra), assim como de mitigações dos deletérios efeitos de tais mudanças. Desde a conferência conhecida como Rio Eco-92 – encontro de nações para prescrever normas multilaterais com fins de evitar e reduzir os efeitos de atividades antrópicas sobre o clima do planeta –, diversos mecanismos de financiamento foram criados a fim

* Respectivamente, estagiário, economista e engenheiro do Departamento de Meio Ambiente da Área de Meio Ambiente do BNDES. Os autores agradecem a colaboração de Márcio Macedo da Costa, Paulo Gustavo Fuchs e Luiz Vítor Constantino e as especiais sugestões do superintendente Sergio Eduardo Weguelin Vieira.

de auxiliar países-membros da convenção, ratificada, de fato, em 1997, com o Protocolo de Quioto. O presente artigo simula qual seria o papel do crescimento das florestas brasileiras (nativas e plantadas) no sequestro de CO₂, chamando a atenção das autoridades para a importância de maior utilização de tais mecanismos. O estudo discorre acerca das regras para que florestas sejam elegíveis aos projetos relacionados ao Protocolo de Quioto, apresenta estudos quantitativos acerca da quantidade de carbono estocado nas florestas nacionais, por bioma, e exercícios algébricos (que avaliam o custo monetário do desmatamento na Amazônia, o custo de sua compensação com reflorestamentos com espécies exóticas, além de estimar a quantidade de recursos financeiros que o país poderia receber, caso reduzisse seus níveis de alteração do uso do solo e de emissões de CO₂ por desmatamento).

Introdução

Mudanças climáticas globais vêm ocorrendo ao longo da história evolutiva do planeta. No entanto, até o século XVIII, estavam relacionadas apenas aos fenômenos naturais, a eventuais atividades vulcânicas ou a extremos climáticos. Após o século XVIII, com o início das “revoluções industriais”, do modo de produção capitalista, da proliferação dos Estados Nacionais e das sociedades de consumo de massa, tais mudanças parecem estar ocorrendo não mais por fenômenos naturais apenas, mas, sobretudo, por atividade humana (antrópica).

As principais atividades antrópicas responsáveis pela emissão de gases de efeito estufa (GEE) relacionam-se à agricultura, ao desmatamento e à atividade industrial dependente da energia derivada de combustíveis fósseis.¹ Ademais, os incêndios florestais, a extração predatória de madeira, a expansão de fronteiras agropastoris e a elevação da temperatura global (como o incêndio em Roraima atribuído ao El Niño, em 1988) formam o ponto nevrálgico no tocante às emissões de CO₂ no Brasil.

A partir de dezembro de 2009, mediante a Lei 12.187/09, o Brasil estabeleceu voluntariamente metas para a redução de emissão de gases:

Art. 12. Para alcançar os objetivos da PNMC, o País adotará, como compromisso nacional voluntário, ações de mitigação das emissões de

¹ Em particular, termoeletricas, transporte rodoviário, siderurgia, cimento e aterros sanitários (lixões).

gases de efeito estufa, com vistas em reduzir entre 36,1% (trinta e seis inteiros e um décimo por cento) e 38,9% (trinta e oito inteiros e nove décimos por cento) suas emissões projetadas até 2020.

Adicionalmente, foi instituído, pela Lei 12.114/09, um fundo destinado à implementação de ações de mitigação de efeitos adversos decorrentes de mudanças no clima e de incentivo ao desenvolvimento científico e tecnológico da indústria brasileira, como recurso complementar para o alcance dos planos setoriais para a redução de gases de efeito estufa.

O objetivo do presente trabalho é, com base nas informações dos estoques e fluxos de carbono nas florestas brasileiras, avaliar as oportunidades que emergem com a criação dos mecanismos de flexibilização do Protocolo de Quioto. Além disso, conjugando os parâmetros de estoque/sequestro de carbono das matas nativas e plantadas no país com as taxas de desmatamento, foi possível estimar as emissões por alterações no uso do solo, assim como os benefícios econômicos associados à manutenção e à expansão da cobertura florestal nativa e plantada brasileira, considerando-se o papel desempenhado pelas florestas na captura de carbono da atmosfera.

Na segunda seção, é apresentado o Marco Regulatório Internacional relativo às florestas, destacando-se: (i) o panorama geral das emissões no mundo; (ii) o perfil das emissões no Brasil; (iii) o papel das florestas dentro do Painel de Mudanças Climáticas da ONU; e (iv) o perfil de projetos de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) no Brasil e no mundo.

Na terceira seção, são feitas estimativas da quantidade de carbono, por hectare, estocada em florestas nativas brasileiras (em diferentes biomas) e em florestas plantadas com espécies exóticas (*pinus/eucalyptus*).

Dados os coeficientes de retenção de carbono dos ecossistemas nacionais, procura-se identificar, na quarta seção, o potencial nacional para obtenção de créditos de carbono, mediante o somatório do crescimento espontâneo da vegetação nativa (“sequestro ecossistêmico de carbono”) e de possibilidades de obtenção de recursos pela redução do desmatamento e da degradação florestal na Amazônia Legal. As conclusões são apresentadas na quinta e última seção.

Florestas: o marco regulatório internacional²

Panorama geral das emissões no mundo

O consenso científico afirma que as mudanças climáticas estão intimamente associadas aos gases de efeito estufa, em particular: 1) dióxido de carbono (CO₂); 2) metano (CH₄); 3) óxido nitroso (N₂O); e 4) clorofluorcarbonetos (CFC). Desde o período que antecedeu à Revolução Industrial, o nível de CO₂ na atmosfera aumentou de 280 partes por milhão (ppm)³ para cerca de 381,2 ppm; o CH₄, de 700 ppb (partes por bilhão) para 1.745 ppb; e o N₂O, de 280 ppb para 320,1 ppb [Meteorological World Organization e University of Oregon (2006)].

Síntese dos últimos resultados divulgados pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) indica que haverá, no decorrer deste século, aumento de temperatura por todo o planeta, sendo mais severo sobre os continentes do que sobre os oceanos. Entre as possíveis causas, está o acréscimo dos níveis de gases de efeito estufa (GEE), em particular, o CO₂ (Tabela 1).

Tabela 1 | Comparativo dos países emissores de CO₂ de 1990 a 2007

Países	Emissão em mil toneladas de CO ₂ em 1990	Países	Emissão em mil toneladas de CO ₂ em 2007
EUA	4.865.027	China	6.538.367
União Soviética	3.796.526	EUA	5.838.381
China	2.460.744	Índia	1.612.362
Japão	1.153.205	Rússia	1.537.357
Índia	690.577	Japão	1.254.543
Brasil (20)	208.887	Brasil (18)	368.317
Resto do mundo	7.575.045	Resto do mundo	12.169.673

Fonte: *United Nations Statistics Division, millennium development goals indicators.*

² O Painel Internacional de Mudanças Climáticas [International Panel on Climate Change (IPCC)] é o corpo técnico principal da ONU, formado pelo programa ambiental da ONU e a organização meteorológica mundial. Sua função é prover informações técnico-científicas acerca das mudanças do clima e seus possíveis impactos sobre as civilizações.

³ O gás carbônico está presente na atmosfera numa proporção de 0,0037%, ou seja, bem pequena. Por isso, cientistas usam a denominação “partes por milhão”, que significa que, em um milhão de partículas da atmosfera, há 370 partículas de CO₂.

Os dados da Tabela 1 consideram apenas as emissões de CO₂ provenientes da queima de combustíveis fósseis e da fabricação de cimento, não considerando as emissões causadas por mudanças e alterações no uso do solo, tal como o desmatamento.

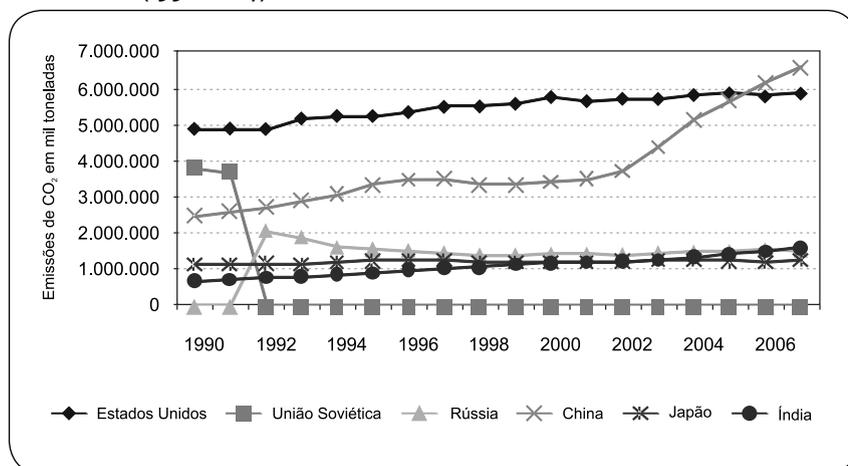
Os Estados Unidos destacam-se entre os países que mais emitem CO₂. Isso se deve à sua pujança econômica, à sua matriz energética e à dinâmica de sua indústria automotiva. Entre 1990 e 2007, o país perdeu a posição para a China, onde o rápido crescimento econômico, aliado às indústrias “sujas” (siderurgia a carvão mineral, celulose, termoeletricas), fez com que as emissões passassem de 2,4 bilhões para 6,5 bilhões de toneladas/ano.

Na Índia, a desregulamentação e o baixo estágio tecnológico das plantas industriais e dos processos de controle ambiental surgem como vilões. O crescimento também é notório. Em 2007, a Índia emitiu o triplo de CO₂ em relação a 1990.

Na Rússia, a grande causa de emissão de CO₂ é a presença de uma política energética ineficaz, na qual se sobressaem grandes centrais térmicas a carvão.

O Brasil emitiu, em 2007, 368 milhões de toneladas de CO₂, posicionando-se na 18ª colocação no rol de países emissores de CO₂. Na contabilidade em questão, estão incluídas apenas as emissões de cunho

Gráfico 1 | Evolução das emissões de CO₂ pelos cinco maiores emissores (1990-2007)



Fonte: ONU (2008).

energético (gás natural, petróleo, biocombustíveis, transportes e termoelétricas), deixando de fora as emissões por desmatamento que, no Brasil, sabidamente, têm papel determinante no volume total emitido pelo país, como mostrado na quarta seção, em Exercício 1: emissões por desmatamento na Amazônia Legal.

É consenso que 50% das emissões nacionais são oriundas de desmatamento. Uma vez que as emissões totais, calculadas pela ONU, incluem somente as origens mencionadas anteriormente – deixando, portanto, o desmatamento e as alterações por uso do solo de fora da contabilidade –, por regra de três simples, estima-se que o Brasil esteja emitindo, no mínimo, cerca de 732 milhões de toneladas de CO₂. O Exercício 1 adiante testa essa hipótese de emissão de CO₂ por desmatamento.

Em todos os casos citados, objetivos de rápido crescimento econômico com necessidade crescente de recursos naturais (renováveis e não renováveis), somados a ciclos de vida mais curtos dos produtos (aumento na velocidade das novidades), têm sido historicamente responsáveis pela degradação do planeta, independentemente do continente, da força dos Estados-nação, de ideologias políticas ou trajetórias históricas.

A análise das emissões *per capita* não faz tanto sentido quando o objetivo é a comparação entre países, uma vez que países pouco ou muito populosos podem ter PIB elevado, como ilustra a Tabela 2.

Vale, porém, sugerir a análise das emissões *per capita* de um mesmo país, ao longo do tempo.

Tabela 2 | Emissões de CO₂ *per capita*

Países	Emissão <i>per capita</i> de CO ₂
Catar	56,2
Emirados Árabes Unidos	32,8
Kuwait	31,2
Bahrein	28,8
Estados Unidos	19,0
China	4,6

Fonte: ONU (2008).

Perfil das emissões no Brasil

Para um banco de fomento, o *trade-off* explícito entre crescimento econômico e preservação de recursos (a um dado estado tecnológico), de um lado, e a melhoria da qualidade ambiental e da rentabilidade de projetos de investimentos (internalização de custos e de externalidades), de outro, é questão central.

Tabela 3 | Comparação entre o perfil das emissões no Brasil e no mundo (2005)

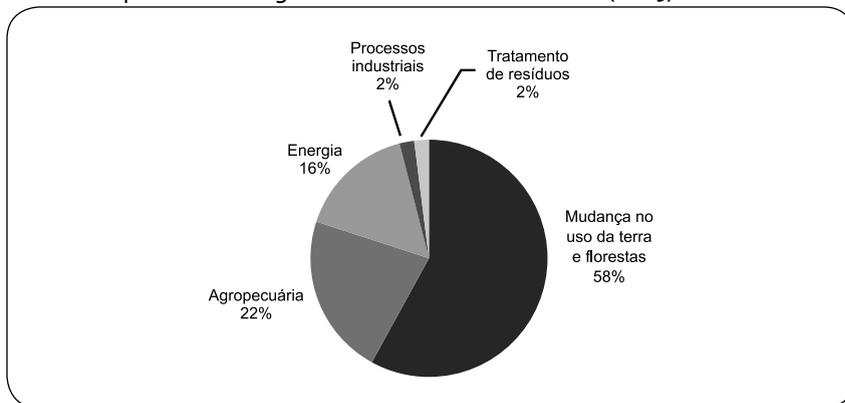
Gás	Mundo		Brasil	
	Mt CO ₂	%	Mt CO ₂	%
CO ₂	28484,80	73,60	366,30	35,60
CH ₄	6407,50	13,50	389,10	37,80
N ₂ O	3285,60	8,50	264,50	25,70
PFC	107,90	0,30	2,90	0,30
HFC	380,60	1,00	3,90	0,40
SF ₆	59,50	0,20	1,70	0,20
Total	38.725,90	97,10	1.028,40	100,00

Fonte: Estudo “Incremento do carvão vegetal renovável na siderurgia brasileira: 2009”.

Como é possível notar com base na Tabela 3, o perfil de emissões do Brasil difere significativamente do resto do mundo, tendo CO₂, CH₄ e N₂O como principais gases de efeito estufa, sendo que, comparativamente ao resto do mundo, o peso relativo de metano e óxido nitroso é perceptivelmente maior. O CH₄ é considerado um dos piores gases, sendo cerca de 20 vezes mais potente que o CO₂ e produzido pela flatulência dos ovinos e bovinos. Se inalado, pode causar asfixia, parada cardíaca, inconsciência e até danos ao sistema nervoso central. O N₂O é ainda mais potente que o metano e sua eficácia é cerca de 230 vezes superior à do CO₂. É produzido nos solos, contribuindo para o aquecimento global.

Parte substancial das emissões nacionais de CO₂ provém do desmatamento e da degradação florestal. Não é à toa que uma das propostas brasileiras para a COP-15, em 2009, em Copenhague, era a redução do desmatamento em 80%, até 2020.

Gráfico 2 | Emissões de gases de efeito estufa no Brasil (2005)



Fonte: MCT.

As emissões nacionais de metano são oriundas, principalmente, de atividades agrossilvipastoris e de lixões a céu aberto, enquanto o óxido nitroso surge pela intensa utilização de nitrogênio sob a forma de fertilizante agrícola.

Assim sendo, a política ambiental de redução das emissões brasileiras deve, por sua vez, ser coerente com o perfil de emissões do país, focando igualmente os setores emissores dos três principais gases supramencionados.

As Conferências das Partes (COPs) e as florestas

Breve histórico

Efeitos adversos esperados para mudanças climáticas provocaram decisões e normatizações que se têm propagado com amplo impacto na esfera internacional. Acordos multilaterais foram firmados.⁴ Antecipando-se às dificuldades de países centrais de cumprir metas de redução de emissões atmosféricas sem comprometimento de bem-estar social, criaram-se no âmbito da COP-07 mecanismos de flexibilização, a saber: (1) Comércio

⁴ O primeiro grande encontro multilateral organizado pela ONU foi a Rio-Eco 92. Nele, estabeleceu-se a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC). Após a assinatura da Eco-92, diversas reuniões foram realizadas entre os países participantes da Convenção-Quadro. Tais reuniões ficariam conhecidas como as Conferências das Partes (COPs), dando origem a seus respectivos documentos e relatórios oficiais conhecidos por COP-01, COP-02 e assim por diante.

de Emissões (CE);⁵ (2) Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL); e (3) Implementação Conjunta (IC).⁶

O Brasil pode se beneficiar com o mercado de carbono, sendo hospedeiro de projetos elegíveis ao MDL, REDD e outros. Uma das modalidades previstas como parte constituinte de projetos MDL consiste no reflorestamento e no estabelecimento de florestas – foco central deste trabalho.

Em 1999, na COP-05,⁷ realizada em Berlim, foram tratadas pela primeira vez as questões relativas ao uso e à mudança do uso do solo e de florestas. Tal documento ficou conhecido como Land Use and Land Use Change and Forestry (LULUCF). As atividades LULUCF até hoje elegíveis no MDL são aquelas que promovem a remoção de gás carbônico da atmosfera, ou seja, florestamento e reflorestamento. Esses conceitos serão mais bem explicados adiante, na seção “MDL e florestas”.

A COP-09 também foi de suma importância para as questões florestais, em especial por versar acerca das REDD. A principal deliberação de interesse nacional é o método criado para cálculo das reduções.

Ainda no que concerne às florestas, vale citar os pilares da COP-13, em 2007, em que se destacam, segundo Cenamo e Pavan (2008):

- 1) Criação de um Plano de Trabalho com o objetivo de definir a amplitude dos incentivos positivos e as abordagens políticas necessárias para lidar com a REDD, mediante a discussão de seus aspectos metodológicos e de suas técnicas, tais como linhas de base e quantificação das reduções de emissões.
- 2) Redução de Emissões do Desmatamento: mecanismos para ajudar países em desenvolvimento com florestas tropicais a reduzirem seu desmatamento.

⁵ O artigo 17 do Protocolo de Quioto determina que os países do denominado Anexo 1 (países desenvolvidos) podem transferir entre si partes de suas quantidades designadas/permitidas de emissões de gases de efeito estufa. Por esse mecanismo de flexibilização, os países que emitirem menos do que o autorizado pelo protocolo podem vender suas cotas excedentes, isto é, seus créditos de carbono. Este é o *comércio de emissões*.

⁶ Já o mecanismo de implementação conjunta foi estabelecido pelo artigo 6 do Protocolo de Quioto, prevendo projetos de caráter bilateral pelos quais Partes do Anexo I ou empresas desses países financiem projetos de redução de emissões em outros países desenvolvidos.

⁷ Em 1997, a terceira Conferência das Partes, em Quioto, culminou com a assinatura de conhecido documento oficial da ONU, o Protocolo de Quioto, obrigando as partes signatárias a reduzir suas emissões em 5,2% em comparação aos níveis de 1990.

Percebe-se, pelo exposto, que a criação de mercado de carbono e a possibilidade de emissão de créditos surgem, no início do século XXI, como fonte adicional de recursos financeiros para países em desenvolvimento com potencial de atividades de florestamento e reflorestamento.

A REDD foi introduzida na COP-11, em dezembro de 2005, pelos governos de Papua Nova Guiné e Costa Rica. O objetivo desse mecanismo é induzir a redução de emissões por degradação e desmatamento, oferecendo recursos aos países não relacionados no Anexo I (“Não Anexo I”). O desmatamento evitado é quantificado e traduzido em créditos de carbono sob a forma de Reduções Certificadas de Emissões (RCEs) – papéis negociáveis – a serem vendidas no mercado internacional de carbono. A ideia central é que esse mecanismo funcione como centro de conservação das florestas, gerando, assim, oportunidades de obtenção de benefícios climáticos para o mundo e recursos financeiros que suportem programas de redução da degradação.

Progressos ocorreram, anos mais tarde, por meio do Plano de Ação de Bali, na COP-13, que reconheceu a importância das florestas para combater as mudanças climáticas e o enorme potencial benéfico que a REDD representa.

Um ano depois, negociadores reuniram-se na COP-14, em Poznan, na Polônia, e concordaram que as atividades de REDD deveriam ser ampliadas, chamando essa abordagem de REDD+, e incluindo, além da contenção do desmatamento e a degradação florestal, a conservação e o aumento dos estoques de carbono florestal e o manejo florestal sustentável.

Para que a REDD seja, de fato, um mecanismo eficaz, será necessário vencer alguns desafios, tais como: De que forma será feita a medição de carbono na área em questão? Quem receberá os pagamentos pela proteção da floresta? Quem financiará tal mecanismo? Existem políticas para proteger os direitos das populações locais e indígenas?

MDL e florestas

Dado que sequestram CO₂ da atmosfera, as florestas funcionam como sumidouros de carbono. Dessa forma, as atividades silvicultoras e de restauração florestal também podem ser beneficiadas com os mecanismos geradores de créditos de carbono.

O IPCC define os seguintes conceitos:

Florestamento é a conversão induzida diretamente pelo Homem, de uma área que não foi florestada por período de pelo menos 50 anos para uma área florestada, através de plantio, sementeira e/ou promoção de fontes naturais de sementes induzida pelo Homem.

Reflorestamento é a conversão induzida diretamente pelo Homem, de área não florestada para área florestada através de plantio, sementeira e/ou promoção de fontes naturais de sementes induzida pelo Homem, em área que era florestada mas que foi convertida para não florestada. Para o primeiro período de compromisso, as atividades de reflorestamento ficarão limitadas aos reflorestamentos ocorridos naquelas áreas que não continham floresta em 31 de dezembro de 1989.

Floresta consiste em área mínima de 0,05 - 1,0 hectares, com cobertura de copa (ou nível de estoque equivalente) de mais de 10-30 por cento, com árvores com potencial de alcançar altura mínima de 2-5 metros na maturidade, *in situ*. Ela pode consistir tanto de formações florestais fechadas, onde árvores de vários estratos e sub-bosque cobrem a maior parte da terra, ou florestas abertas. Formações naturais jovens e todas as plantações que ainda tiverem que alcançar densidade de copa de 10-30 por cento, ou altura de árvore de 2-5 metros são consideradas florestas, assim como áreas que normalmente fazem parte de área florestal que está temporariamente desbastada, como resultado de intervenção humana, ou causas naturais, mas que são esperadas reverter em floresta. [Lopes (2002, p. 59)].

Do total de projetos MDL, em 2010, poucos eram de reflorestamento ou florestamento, principalmente pela falta de conhecimento sobre as metodologias de linha de base e de monitoramento existentes no Comitê Executivo do MDL. Conclui-se que o Brasil, apesar de apresentar condições ideais para plantio de espécies florestais, investe relativamente pouco em empreendimentos dessa natureza.

As fases de implementação de projetos de florestamento e reflorestamento relacionados às atividades de MDL são similares às das atividades de outros projetos de redução de emissões (validação, aprovação, verificação e monitoramento). Entretanto, há particularidades que merecem destaque.

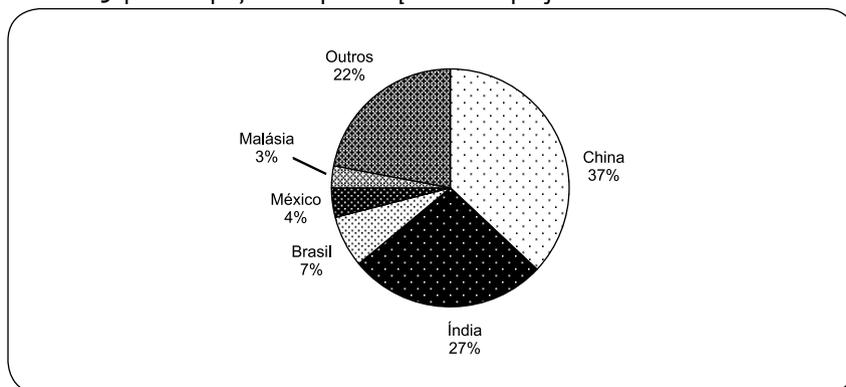
Segundo Frondizi (2009), há diferenças quanto ao tipo de reduções certificadas. Podem-se encontrar RCEs temporários (designados por 20 anos, renováveis por mais duas vezes, totalizando 60 anos) ou permanentes (30 anos).

Uma vez que o protocolo necessita ser ratificado em 2012 pelas nações do Anexo I, a incerteza com relação à sua ratificação (ou não) gera maiores riscos e novas incertezas nos negócios relacionados aos RCEs oriundos de florestas. Ademais, questões como “risco de incêndio” e/ou “pragas” também geram incertezas, conferindo menor liquidez aos RCEs dessa natureza.

Panorama dos projetos de MDL no mundo e no Brasil

Segundo a Convenção-Quadro das Nações Unidas para Mudanças do Clima, em 2010 a China ocupou a primeira posição no *ranking* mundial de projetos desenvolvidos no âmbito do MDL com aproximadamente 2.245 projetos (37%) de um total de 6.096 (Gráfico 3). Em segundo lugar, encontra-se a Índia, com 1.645 projetos (27%), e em terceiro, o Brasil, com 427 (7%). Cabe ressaltar que esse mecanismo é realizado por meio de empresas e governos de países do Anexo I (países industrializados) que não conseguirem cumprir suas metas de redução de emissões de gases, por meio da compra de créditos de carbono em países em desenvolvimento ou, ainda, preferencialmente, do financiamento de projetos que auxiliem na redução da poluição nesses países em desenvolvimento.

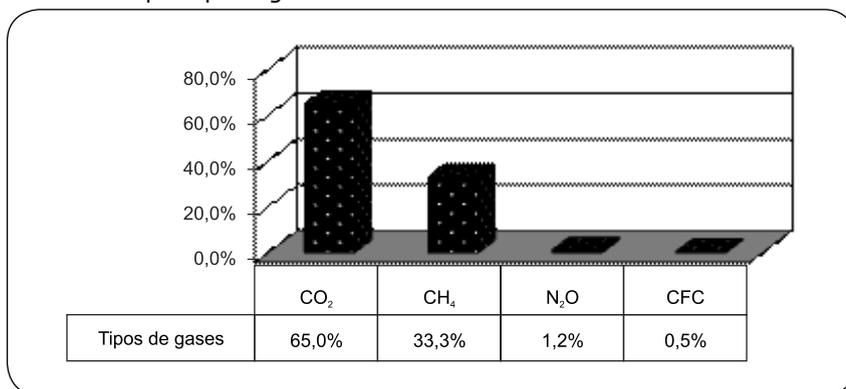
Gráfico 3 | Participação dos países que detêm projetos relacionados ao MDL



Fonte: Brasil (2010).

No Brasil, a distribuição de projetos dessa natureza, por tipo de GEE, pode ser vista no Gráfico 4:

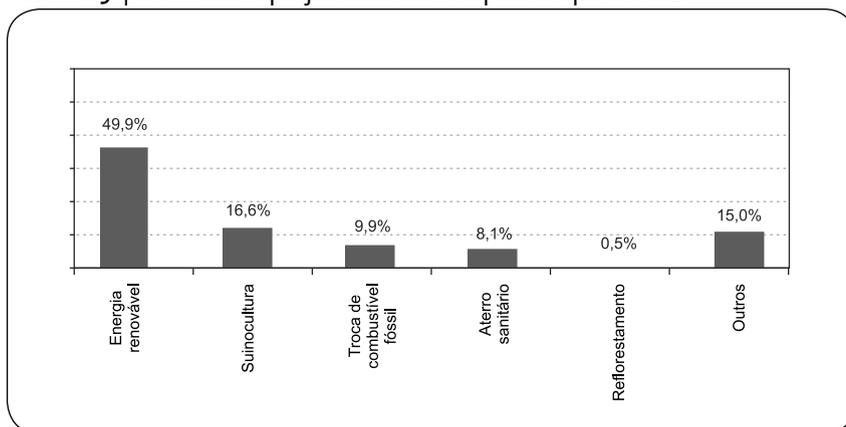
Gráfico 4 | Distribuição das atividades de projetos MDL no Brasil, por tipo de gás



Fonte: Brasil (2010).

Ademais, a distribuição de projetos por setor industrial é mostrada no Gráfico 5, em que os projetos florestais são pouco relevantes.

Gráfico 5 | Número de projetos brasileiros por escopo setorial



Fonte: Brasil (2010).

Com base na análise dos Gráficos 3, 4 e 5, é possível afirmar que o Brasil: (i) explora relativamente pouco as oportunidades surgidas com

o MDL – sugerido pelo próprio país; (ii) os projetos ainda se concentram na redução de emissões de carbono (e não metano ou óxido nitroso, outros importantes gases na matriz nacional de emissões); (iii) os projetos estão concentrados em setor em que o país, naturalmente, já tem vantagens comparativas (energia renovável); e (iv) a pequena porcentagem de projetos de reflorestamento está relacionada à dificuldade de medir o carbono absorvido pelas árvores em crescimento e de se adequar ao critério de adicionalidade.

Estimativas de estoque de carbono em diferentes biomas nacionais e florestas exóticas

Contextualização

Existem diferentes estoques de carbono no planeta, a saber: (i) terrestres (80 mil Gt de carbono);⁸ (ii) oceanos (42 mil Gt de carbono); e (iii) atmosfera (740 Gt de carbono). O montante do carbono atmosférico é pequeno comparativamente ao carbono terrestre e ao carbono nos oceanos. Dessa maneira, pequenas variações de fluxo podem gerar grandes variações no estoque atmosférico.

Parte do estoque terrestre é formada por rochas, carbonatos, carvão mineral e petróleo (entre outras formas de mineralização e fossilização do carbono ao longo de seu longo ciclo geológico) e parte está estocada nas florestas. Estas, por sua vez, além de consistirem em armazenadoras de carbono (outrora fixado pela fotossíntese), seguem como parte integrante do curto ciclo biológico do carbono (tanto pela fotossíntese – de plantas e algas – como pela decomposição da matéria orgânica de vegetais e animais).⁹

Em um sistema econômico global, no qual as emissões ou reduções de carbono passaram a ser precificadas e transacionadas, a quantificação dos estoques contidos em florestas, assim como os fluxos por ela gerados, emergem como condição para a realização das trocas dessa nova *commodity* ambiental.

⁸ Formações geológicas, contendo carbono fóssil e mineral, e os ecossistemas terrestres, formados pela soma biota + solo.

⁹ O ciclo biológico do carbono é relativamente rápido: estima-se que a renovação do carbono atmosférico ocorra a cada 20 anos. Já o ciclo geológico do carbono é muitas vezes originado da combinação ou dissolução do dióxido de carbono em água, formando o ácido carbônico que, posteriormente, transforma-se em carbonatos e, lentamente, em rochas calcárias. Enquanto o ciclo biológico é contabilizado em anos, o ciclo geológico é contabilizado em bilhões de anos, sendo tão antigo quanto o próprio planeta.

Os resultados do efeito do sequestro de carbono pelas florestas podem ser quantificados por meio da estimativa da biomassa da planta acima e abaixo do solo. Isso porque cerca de 50% da biomassa (seja de origem vegetal ou animal) é à base de carbono. No caso dos vegetais, o carbono encontra-se sob a forma de celulose, hemicelulose e outros polímeros naturais à base de elemento químico.

As florestas tropicais úmidas são caracterizadas por alta taxa de produtividade primária,¹⁰ retendo considerável estoque de carbono, principalmente na sua fase de crescimento, quando as árvores removem quantidades significativas de carbono da atmosfera. Essas quantidades são reduzidas gradativamente a taxas quase insignificantes, quando as plantas se tornam “maduras” ou formadas.¹¹

O objetivo da presente seção é fornecer parâmetros e coeficientes de conversão que serão utilizados nos exercícios da seção seguinte.

Estoque global de carbono em vegetação e florestas no mundo

No mundo todo, o estoque de carbono das florestas encontra-se distribuído de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4 | Estoque global de carbono na vegetação e no solo (profundidade de 100 cm)

Bioma	Área (10 ⁶ km ²)	Estoque de carbono (Gt de C)		
		Vegetação	Solos	Total
Floresta tropical	17,6	212	216	428
Floresta temperada	10,4	59	100	159
Floresta boreal	13,7	88	471	559
Savanas tropicais	22,5	66	264	330
Campos temperados	12,5	9	295	304
Desertos e semidesertos	45,8	8	191	199
Tundra	9,5	6	121	127
Pântanos	3,5	15	225	240
Terras agrícolas	16	3	128	131
Total	151,5	466	2.011	2.477

Fontes: Watson *et al.* (2000) e Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (1998).

¹⁰ A produtividade primária pode ser definida como a taxa na qual a energia radiante é convertida pela atividade fotossintética e quimiossintética de plantas em substâncias orgânicas.

¹¹ Recentemente, entretanto, tem ocorrido o que engenheiros florestais passaram a denominar “efeito fertilização de CO₂”. Ou seja, mesmo florestas clímax, como a amazônica, que supostamente estariam em equilíbrio, vêm sequestrando carbono após o aumento de sua concentração na atmosfera, aumentando, destarte, a produção de biomassa da floresta.

O total de carbono estocado nos ecossistemas florestais (e que pode ser liberado) representa apenas 3% do estoque atmosférico, mas os fluxos (por emissão ou remoção) causam impactos relevantes nos fluxos entre os estoques terrestre e atmosférico.

Biomias brasileiros

A precisão da estimativa de estoques e fluxos de carbono associados aos biomas brasileiros depende da categorização que será adotada. O IBGE publicou, recentemente, mapa com aproximadamente seis biomas distribuídos no território nacional. O presente trabalho irá adotar seis categorias, a saber: Mata Atlântica, Cerrado, Caatinga, Amazônia, Pantanal e Pampa.

Tabela 5 | Extensão dos biomas no Brasil

Biomias continentais brasileiros	Área aproximada (km ²)	Área total Brasil (%)
Bioma Amazônia	4.196.943	49,29
Bioma Cerrado	2.036.448	23,92
Bioma Mata Atlântica	1.110.182	13,04
Bioma Caatinga	844.453	9,92
Bioma Pampa	176.496	2,07
Bioma Pantanal	150.355	1,76
Área total Brasil	8.514.877	100,00

Fonte: IBGE.

De acordo com as definições do IBGE:

O Mapa de Vegetação do Brasil reconstitui a situação da vegetação no território brasileiro na época do descobrimento pelos portugueses e mostra que no país ocorrem dois grandes conjuntos vegetacionais: **um florestal**, que ocupa mais de 60% do território nacional, e **outro campestre**.

As formações florestais são constituídas pelas **florestas ombrófilas** (em que não falta umidade durante o ano) e **estacionais** (em que falta umidade num período do ano), **situadas tanto na região amazônica** quanto nas áreas extra-amazônicas, mais precisamente na **Mata Atlântica**.

As **formações campestres** são constituídas pelas tipologias de vegetação abertas, mapeadas como: **savana**, correspondente ao cerrado que predomina no Brasil central, ocorrendo também em pequenas áreas em outras regiões do país, inclusive na Amazônia; **savana estépica** que inclui a caatinga nordestina, os campos de Roraima, o Pantanal mato-grossense e uma pequena ocorrência no extremo oeste do Rio Grande do Sul; **estepe** que corresponde aos campos, do planalto e da campanha, do extremo sul do Brasil; e a **campinarana**, um tipo de vegetação decorrente da falta de nutrientes minerais no solo e que ocorre na Amazônia, na bacia do rio Negro. [Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=169Mapas de Biomas e Vegetação do Brasil]

As estimativas que se seguem focam apenas as formações florestais do país.

Estoque e fluxo de carbono em florestas nativas no Brasil

Existem, basicamente, dois métodos distintos para mensurar o estoque de carbono em florestas. O primeiro, e mais antigo, é o método destrutivo. Com base na amostragem em dada região, define-se o volume/massa de madeira contida num hectare por meio da retirada e da pesagem da madeira. A partir da secagem da madeira, presume-se que uma proporção desta é carbono. De modo geral, o teor de carbono oscila entre 45% e 50% da massa total da biomassa seca. Esse método parece ser o mais adequado quando se trata de cálculos em regiões com muitas espécies distintas. O segundo, denominado indireto, consiste em estimar a biomassa da floresta com base em equações matemáticas (alométricas ou dendométricas) que relacionam o diâmetro do tronco às outras partes da árvore. Esse método é mais apropriado para florestas homogêneas, nas quais a variabilidade entre cada planta é pequena, permitindo o uso de parâmetros da espécie. Do mesmo modo, existem técnicas diferentes para calcular o fluxo anual de carbono das florestas (as torres de medição¹² são um exemplo, as técnicas simples – porém, menos precisas – utilizadas no presente trabalho, outro).

¹² Torres localizadas a dada altura, no meio de um maciço florestal, equipadas com um medidor. No caso, denominado anemômetro sônico 3D.

Amazônia

Estoque de carbono na Amazônia

De acordo com o IBGE (2009):

Na Amazônia, predominam as **florestas ombrófilas¹³ densas e abertas**, com árvores de médio e grande porte, com ocorrência de cipós, bromélias e orquídeas. Maior reserva de diversidade biológica do mundo, a Amazônia é também o maior bioma brasileiro em extensão e ocupa quase metade do território nacional (49,29%). A bacia amazônica ocupa 2/5 da América do Sul e 5% da superfície terrestre. Em área de aproximadamente 6,5 milhões de quilômetros quadrados, abriga a maior rede hidrográfica do planeta, que escoa cerca de 1/5 do volume de água doce do mundo. Sessenta por cento da bacia amazônica se encontra em território brasileiro, onde o Bioma Amazônia ocupa a totalidade de cinco unidades da federação (Acre, Amapá, Amazonas, Pará e Roraima), grande parte de Rondônia (98,8%), mais da metade de Mato Grosso (54%), além de parte de Maranhão (34%) e Tocantins (9%).

Tabela 6 | Estoques de carbono sobre o solo na Amazônia

Tipo de vegetação	Estoque de carbono (tC/ha)
Floresta ombrófila densa aluvial	129
Floresta ombrófila densa das terras baixas	124
Floresta ombrófila mista	102
Experimento em região densa de Roraima*	156
Ombrófila densa	115
Média de estoque de carbono sobre o solo na Amazônia	125

Fontes: Veloso e Klein (1957a, 1957b, 1961, 1963), *Xaud (2006) e Higuchi (2004).

Castilho (2006), estudando a Amazônia Central, encontrou, acima do solo, resultados que apontam para estoque de biomassa, variando entre 210 t/ha e 426 t/ha, representado por média de 327 t/ha (desvio padrão de 42 t/ha).

¹³ Caracteriza-se por fisionomias ecológicas tropicais com elevada umidade, proporcionando ambientes sombreados.

Fearnside (2002) afirma, com base no programa Radambrasil, que existem, em média, 94 toneladas de carbono por hectare, abaixo dos solos da floresta amazônica, contabilizados à profundidade de 1 metro (desvio padrão: 24,5%).

Fluxos de carbono na Amazônia

Na Amazônia, segundo Fearnside (2002), uma floresta secundária com 10 anos de idade assimila de seis a 10 toneladas de carbono por hectare por ano (doravante, tC/ha/ano); com 20 anos, de 4 a 7 tC/ha/ano; e com 80, a assimilação anual média cai para 2 tC/ha/ano. Acredita-se que, com 100 anos, a floresta atinja o estado de equilíbrio, com taxa de assimilação de 0,97 tC/ha/ano.

Controvérsias metodológicas e diferentes hipóteses científicas levam a dois pontos de vista distintos acerca dos fluxos de carbono na floresta amazônica:

- 1) A floresta amazônica, por ser uma floresta madura (floresta clímax), tem balanço neutro de carbono. Nesse ponto, vale notar que a floresta não tem balanço neutro de metano, posto que emite, mas não absorve.
- 2) A elevação do nível de CO₂ na atmosfera pode estar causando, como um processo de fertilização, elevações na taxa de crescimento da floresta amazônica. Nesse caso, a floresta poderia ter balanço positivo de carbono.

Tian (2000), analisando série de 1990 a 2000, observa que o balanço de carbono da floresta amazônica é muito errático, ora positivo, ora negativo, dependendo de variáveis como incidência de luz solar, concentração de CO₂ na atmosfera e volume pluviométrico.

Mata Atlântica

Estoques de carbono na Mata Atlântica

De acordo com o IBGE (2009):

As florestas extra-amazônicas **coincidem com as formações florestais que compõem a Mata Atlântica**, onde predominam **as florestas estacionais semidecíduais** (em que 20% a 50% das árvores perdem as folhas no período seco do ano) e **as florestas ombrófilas densas e mistas** (com araucária). Em ambos os

conjuntos florestais ocorrem, em menor proporção, florestas estacionais decíduais (em que mais de 50% das árvores perdem folhas no período seco).

A Tabela 7 mostra estimativas de carbono em dois tipos de floresta ombrófila.

Tabela 7 | Estoques de carbono em formações de Mata Atlântica no Brasil

Tipo de vegetação	Estoques de carbono (tC/ha)
Floresta estacional semidecidual	108,6
Floresta ombrófila densa	152,9
Floresta ombrófila mista	102
Média de estoque de carbono sobre o solo na Mata Atlântica	121

Fonte: Embrapa (2009).

Comparando-se a vegetação típica da Mata Atlântica com a vegetação amazônica, percebe-se que:

- 1) A média do estoque de carbono acima do solo na Amazônia é muito próxima da média observada na Mata Atlântica. Ambas as vegetações são milenares. Como o que restou da Mata Atlântica foi a parte densa, a média apresentada para essa vegetação foi maior que para a Amazônia. Esta, em seus locais mais densos, pode estocar até 200 tC/ha, somente de solo. Porém, como o bioma é formado por diferentes tipos de vegetação – como visto na definição do IBGE (capinarana, cerrado, florestas ombrófilas) –, certa dispersão é observada. Assim sendo, o local onde a floresta é desmatada também influencia na liberação de carbono. Muitas vezes, o objetivo do desmatamento é a extração de madeira (por sua nobreza ou por seu volume). Nesses casos, o prejuízo ambiental é maior.
- 2) O desvio médio ou outra unidade de dispersão é bem maior na Mata Atlântica. A explicação está no fato de ela ser mais rica em biodiversidade florística. A razão vem do fato de essa formação florestal ser observada ao longo de todo o litoral brasileiro, o que a submete a diferentes regimes climáticos.

Florestas plantadas como instrumentos de reengenharia climática no Brasil: *carbon sinks*

Em virtude da liderança brasileira na fabricação de celulose de fibra curta de eucalipto e do crescente volume exportado, o país possui ativa e extensa atividade silvicultora. Além disso, a produção de móveis para o mercado interno (à base de chapas de MDF e outros produtos oriundos de plantios de eucaliptos e pinus) também induz a novas plantações e, conseqüentemente, ao sequestro de carbono.

Eucalyptus spp.

Estoques de carbono em florestas de eucalipto

Dada a curta rotatividade do ciclo dos eucaliptais (sete anos), tais florestas encontram-se constantemente em crescimento (não atingem sua idade máxima ou a condição de floresta clímax), sequestrando grande quantidade de carbono. Seu rápido crescimento significa também acelerado processo de fotossíntese e sequestro de carbono.

De acordo com Maestri (2004), a distribuição do teor de carbono em cada parte de uma árvore de eucalipto apresenta-se como segue: copa (525 gC/kg de biomassa); lenho (506 gC/kg de biomassa); casca (479 gC/kg de biomassa); raiz (507 gC/kg de biomassa); e serapilheira (477 gC/kg de biomassa). Ou seja, em média, uma tonelada de eucalipto contém 500 kg de carbono nele estocado. Tal proporção é utilizada como fator de conversão nos exercícios de simulação na próxima seção.

Um eucaliptal com produtividade média de 42 m³/ha/ano (similar à média nacional) produziria 105 tC/ha ao final de 10 anos de crescimento.

Fluxos de carbono em florestas de eucalipto

Analisando a literatura, no intuito de obter a média dos resultados dos experimentos realizados por diversos autores, obtiveram-se os parâmetros da Tabela 8.

Apenas para fins ilustrativos, Correia (2006) afirma que um eucaliptal de baixa produtividade (17 m³/ha/ano) tende a sequestrar, até os nove anos, o valor médio de 9,6 tC/ha. De outro modo, é possível inferir que, sob os níveis médios de produtividade no país (de 42 m³/ha/ano), o sequestro médio de carbono no maciço florestal brasileiro é mais que o dobro do

observado no referido estudo. Note-se que o sequestro de carbono é, portanto, uma função da produtividade florestal.

A floresta cresce de modo contínuo e, de forma geral, apresenta uma seção convexa, de alto crescimento, e outra côncava, na qual começam a atuar produtividades marginais decrescentes do uso da terra. Assim sendo, a curva de acúmulo de carbono acompanha a curva de acúmulo de biomassa florestal.

Pinus taeda

Estoques de carbono em florestas de pínus

A estimativa dos estoques de carbono em partes das plantas, feita com base nas equações dendométricas, utilizou os parâmetros observados na Tabela 8 para a espécie *Pinus taeda*.

Tabela 8 | Equações para a determinação do volume individual de carbono em diferentes compartimentos em *Pinus taeda*

Compartimento	Equação
Fuste	$PCF = 0,1737 PVF$
Folhas	$PCFI = 0,1422 PVFI$
Galhos vivos	$PCGv = 0,1595 PVGv$
Raiz	$PCR = 0,1676 PVR$

Fontes: Universidade Federal do Paraná (UFPR) e Ecoplan (2003).

Notas: PCF: peso de carbono no fuste; PCFI: peso de carbono nas folhas; PCGV: peso de carbono nos galhos vivos; PVF: peso verde de fuste; PVFI: peso verde de folhas; PVGV: peso verde de galhos vivos; PVR: peso verde de raízes; PCR: peso de carbono na raiz.

Waltzlawick (2005), estudando certa região do Paraná, classificada com clima subtropical úmido mesotérmico, estimou a biomassa contida em povoamentos de *Pinus taeda L.* com 21, 22 e 23 anos de idade em, respectivamente, 299 tC/ha, 271 tC/ha e 280 tC/ha. O acúmulo de carbono orgânico nessas mesmas idades foi de 135 tC/ha, 130 tC/ha e 119tC/ha. Conclusões semelhantes podem ser encontradas em Schumacker (2000).

Vale notar que o pínus é mencionado com destaque no que tange ao acúmulo de carbono, uma vez que o estudo inclui o carbono contido

acima e abaixo do solo, corroborando a importância de se explicitarem metodologias ao apresentar resultados.

Com base florestal de 6,1 milhões de hectares de florestas exóticas plantadas com fins comerciais (4,3 milhões com eucaliptos e 1,8 milhão com pinus), o Brasil possui, numa aproximação, 10,5 milhões de toneladas de carbono estocado por atividades industriais – uma externalidade positiva do setor de celulose, papel, siderurgia a carvão vegetal e móveis à base de chapas e serrados de pinus.

Fluxos de carbono em florestas de pinus

Em função da multiplicidade de métodos para estimar estoques e fluxos de carbono em florestas, optou-se por um modelo algébrico simples, proposto pelos autores deste artigo. Com base em dados do acúmulo de biomassa florestal (dado pela produtividade da floresta e representado por seu incremento médio anual [IMA]) e do coeficiente de conversão tonelada de carbono, definiu-se o fluxo anual de carbono como o produto abaixo:

$$F_c = IMA \times d \times F.C$$

em que

- F_c = fluxo anual de carbono da floresta
- IMA = incremento médio anual
- d = densidade básica do pinus
- F.C = fator de conversão de biomassa seca em carbono

O IMA de coníferas no Brasil situa-se ao redor de 28 m³/ha/ano. Isso significa que, a cada ano, a floresta aumenta em volume, em média, 28 m³. Considerando a densidade básica do pinus (cerca de 0,48g/cm³), é possível dizer que a cada ano a floresta de pinus acumula 14 toneladas de biomassa por hectare e, portanto, dado o fator de conversão (0,4), 5,6 toneladas de carbono. Como a molécula de CO₂¹⁴ é 3,67 vezes mais pesada que a de carbono, o fluxo anual de sequestro de carbono estimado para a floresta de pinus seria de, aproximadamente, 20,6 toneladas de CO₂/ha/ano.

Considerando apenas a base nacional de florestas plantadas com pinus (1,8 milhão de hectares), ter-se-ia um sequestro anual de 37,1 milhões de toneladas de CO₂ por ano.

¹⁴ Sendo o número atômico dos átomos de carbono e oxigênio, respectivamente, seis e oito prótons, suas massas atômicas são 12 e 16, respectivamente. Como uma molécula de CO₂ possui dois átomos de oxigênio e um de carbono, sua massa molecular é 44. Assim, por regra de três simples, cada tonelada de carbono estocado corresponde, no mínimo, a 3,67 toneladas de CO₂.

Todas as informações citadas nesta seção foram sumariadas na Tabela 9 e servem de premissas para os exercícios propostos.

Exercícios de simulação: LULUCF, REDD e MDL

O objetivo da presente seção é avaliar custos e benefícios econômicos associados à redução do desmatamento e à manutenção e à expansão da cobertura florestal nativa (Amazônia e Mata Atlântica) e plantada brasileira – considerando-se o papel desempenhado na captura de carbono da atmosfera.

Os números apresentados na Tabela 9 foram calculados pela média de estoques e fluxos de carbono apresentados nos artigos de especialistas da área florestal. Como exposto no início da seção anterior, a grande variabilidade de resultados deve-se aos diversos métodos de aferição utilizados pelos analistas. Como visto, deve-se ter em mente que a inclusão ou não do carbono abaixo do solo pode duplicar o valor dos resultados. Os exercícios abaixo não consideram o carbono abaixo do solo. Mas, para tal estimativa, basta multiplicar os valores encontrados por 1 a 1,5 vez os valores encontrados acima do solo e somá-los aos resultados. Isso fornece uma estimativa do efeito de longo prazo sobre a atmosfera.

Tabela 9 | Média de estoques e fluxos de carbono, por bioma, no Brasil, de acordo com especialistas da área florestal

Bioma	Estoque de carbono em toneladas/hectare	Bioma	Fluxo de carbono em toneladas/hectare/ano
Amazônia	125 tC/ha	Amazônia	0,8 tC/ha/ano
Eucalipto	105 tC/ha	Eucalipto	5,5 tC/ha/ano
Pínus	128 tC/ha	Pínus	6,2 tC/ha/ano
Mata Atlântica	121 tC/ha	Mata Atlântica	3,8 tC/ha/ano

Fonte: Elaboração própria.

Os conceitos de geoengenharia ou de engenharia climática surgem como tentativas de criar sumidouros de carbono (*carbon sinks*). Existem, em linhas gerais, duas grandes formas de geoengenharia relacionadas ao CO₂: CDR (Carbon Dioxide Removal) e SRM (Solar Radiation Management).

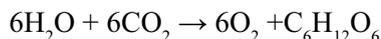
Na primeira, como o nome sugere, busca-se sequestrar/retirar carbono da atmosfera, ao passo que, na segunda, objetiva-se refletir a luz solar na tentativa de resfriar o planeta.¹⁵ No âmbito do CDR, estão inseridas as florestas nativas ou plantadas.

As florestas em crescimento e maduras são dotadas da capacidade de fazer fotossíntese (de energia química por meio da energia eletromagnética do sol em junção com a água e o dióxido de carbono), de respirar (utilizar oxigênio para quebrar moléculas de glicose e devolver CO₂) e de transpirar (liberar água por meio de organelas denominadas estômatos, que, quando abertas, têm a função de capturar CO₂ e permitir a evaporação da água captada pelas raízes para o processo de fotossíntese).

Na fotossíntese, a floresta capta gás carbônico e libera oxigênio, enquanto no processo inverso, de respiração, ela absorve oxigênio, quebra moléculas de polissacarídeos e libera CO₂.

(1) Fotossíntese

A equação simplificada do processo é a formação de glicose.



Existem a fotossíntese líquida e a fotossíntese bruta, conceitos que se aproximam do sequestro líquido de carbono (ora denominado balanço ou fluxo de carbono).

(2) Respiração



Cada simulação foi concebida para responder, especificamente, às seguintes questões:

Exercício 1: qual o atual nível de emissão anual de CO₂ por desmatamento na Amazônia?

Exercício 2: qual a quantidade de recursos que o país poderia receber, por meio do programa de REDD, para cada 1.000 km² de desmatamento evitado?

Exercício 3: quais os recursos necessários que deveriam ser investidos em plantios para compensar as emissões atuais e futuras?

¹⁵ Vide albedo.

Quando a floresta é desmatada, ocorrem, para fins de exercícios relacionados a fluxos de carbono, no mínimo, três efeitos diretos:

- 1) o carbono que estava estocado nas árvores é prematura e novamente inserido no ciclo geral do carbono por queima e emissão de CO_2 – efeito imediato sobre a atmosfera – ou pela deterioração natural da madeira – efeito lento sobre a atmosfera;
- 2) as árvores que diariamente sequestravam gás carbônico e devolviam oxigênio deixam de funcionar como sumidouros naturais;
- 3) o carbono estocado no solo começa a ser liberado.

Exercício 1: Emissões por desmatamento na Amazônia Legal

Qual o atual nível de emissão anual de CO_2 por desmatamento na Amazônia?

Com base na inspeção sobre dados históricos, os níveis de emissão serão calculados em dois cenários distintos: (i) média dos últimos 20 anos; e (ii) média recente, 2006-2009. Esse cálculo contabiliza o produto da área desmatada pelo estoque de carbono encontrado acima do solo e pelo fator de conversão de tonelada de carbono para tonelada de CO_2 (3,67).

$E_d = H_{a_d} \times C_a \times 3,67$, em que:

E_d = emissões por desmatamento via queimada

H_{a_d} = média do desmatamento em hectares/ano

C_a = estoque médio de carbono por hectare de floresta amazônica

Esses cálculos são válidos apenas sob a hipótese de desmatamento feito por queimada (pirólise do carbono), caso em que se emite muito monóxido e dióxido de carbono direto para a atmosfera. Os leitores são convidados a aventar outras hipóteses, como apenas 50% de desmatamento ocorrendo por queimada e 50%, por exploração predatória. Qualquer outra média ponderada pode ser utilizada, em particular, as que mais se aproximam dos vetores reais de desmatamento no Brasil (retirada de madeira para fabricação de carvão, equivalente à queimada, queimadas para preparação de solo para agricultura, pecuária e extrativismo vegetal). Vale notar que tais vetores se alteram de acordo com o tempo histórico e o momento econômico por que passa a nação.

Desmatamento com base na média dos últimos 20 anos – 17 mil km²/ano (ou 1,7 milhão de hectares)

Com base na média histórica nos últimos 20 anos calculada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), obteve-se como resultado a retirada anual de 212,5 milhões de toneladas de carbono (outrora estocadas) na biomassa florestal acima do solo, o que representa 780 milhões de toneladas de CO₂ emitidos de volta para a atmosfera anualmente. Essa grandeza corresponde apenas ao efeito direto da retirada das árvores que, antes, funcionavam como fixadores de CO₂.¹⁶

Optando-se pela hipótese de que 70% do desmatamento ocorra por queimadas, teríamos 546 milhões de toneladas de CO₂ emitidas por desmatamento na região amazônica. Somados aos 366 milhões apontados pela ONU, os números aproximam-se dos divulgados pela International Energy Agency (IEA).

Vale lembrar, por questões metodológicas, que tal número está subestimado, por não levar em conta:

- 1) o estoque de carbono liberado do solo após a degradação, mas basta duplicar o valor encontrado;
- 2) a decomposição da biomassa restante no sítio em questão, após a queimada ou retirada da madeira, não é levada em consideração (emissão de metano por decomposição – vide Anexo 1); e
- 3) a respiração florestal (autotrófica e heterotrófica).

A inclusão do carbono sob o solo, como visto, pode levar ao dobro do valor ora estimado. A inclusão do metano emitido aumentará o resultado obtido, assim como a inclusão da respiração florestal.

Levando-se em consideração, ainda, outro efeito indireto, qual seja, a quantidade de carbono que, a partir do desflorestamento, deixa de ser sequestrado ao longo de, por exemplo, 10 anos, a floresta deixaria de capturar outros 5 milhões de toneladas de CO₂ nesse período.

¹⁶ Caso as árvores sejam cortadas e vendidas, a retirada de carbono equivale à quantidade estocada. No caso de a floresta ser queimada, vale o raciocínio acima de que a quantidade emitida de CO₂ seria 3,67 vezes maior que a quantidade estocada na floresta.

Desmatamento com base na média recente (2006-2009) – 11 mil km²/ano (1,1 milhão de hectares)

Considerando-se a queda recente das estatísticas de desmatamento na região, cuja média anual 2006-2009 foi de 11.154 km², o país emitiu, anualmente, 511,70 milhões de toneladas de CO₂ apenas por desmatamento, naquela região.

Houghton (2000) parece confirmar as estimativas realizadas, afirmando que o desmatamento e a queima de biomassa foram responsáveis por emissões médias na década 1989-1998 de 200±100 milhões de toneladas de carbono por ano (ao redor de 734 milhões de toneladas de CO₂), somente na Amazônia brasileira, levando-se em conta a emissão por queima de biomassa por desmatamento e a decomposição da biomassa que resta após as queimadas.

Exercício 2: REDD – possibilidades de obtenção de recursos pela redução do desmatamento e da degradação florestal na Amazônia Legal

Qual a quantidade de recursos que o país poderia receber, por meio do programa de REDD, para cada 1.000 km² (100.000 ha) de desmatamento evitado?

Considerando-se que o desflorestamento da Amazônia emite em média 458,7 toneladas de CO₂ por hectare ao ano, cada 1.000 km² reduzidos de desmatamento equivaleria à REDD de 45,8 milhões de toneladas de CO₂ por ano.

Isso equivale a 45,8 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente,¹⁷ retiradas da Amazônia Legal a cada 1.000 km² reduzidos por ano, o que representaria a possibilidade de o Brasil emitir 45,8 milhões de RCEs¹⁸ em decorrência de REDD nas condições assumidas.

Em termos monetários, ao atual preço dos RCEs, o Brasil poderia obter um ingresso de capitais via conta de transações multilaterais entre

¹⁷ Uma vez que cada tipo de GEE tem diferente efeito destruidor sobre a atmosfera (o metano, por exemplo, é 21 vezes mais destrutivo que o CO₂), criou-se a unidade de medida “dióxido de carbono equivalente”, um modo de exprimir o impacto de outros gases sob a forma de CO₂.

¹⁸ As RCEs são contabilizadas por tonelada de dióxido de carbono equivalente (CO₂). Cada tonelada de dióxido de carbono equivalente que não foi emitida para a atmosfera corresponderá a um crédito de carbono, ou melhor, a uma RCE.

US\$ 320 milhões e US\$ 640 milhões (considerando que o preço da tonelada de dióxido de carbono equivalente tem sido discutido, e os valores propostos têm oscilado entre US\$ 7 e US\$ 14).

É interessante a discussão acerca das condições necessárias para a manutenção da floresta em pé. Intuitivamente, com base na teoria microeconômica neoclássica de escolha do consumidor (empresário), tal condição dependerá do preço relativo (entre a madeira e o carbono), como demonstrado a seguir:

Sejam P_c e P_m os preços do carbono e da madeira, respectivamente, e t a tonelada de madeira (e por conseguinte, de carbono), tem-se que os valores da floresta em pé (VFp) e da floresta desmatada (VFd) são:

$$VFp = P_c * t; \text{ e}$$

$$VFd = P_m * t$$

A condição necessária para que a floresta seja mantida em pé é:

$$VFp > VFd$$

$$VFp - VFd > 0$$

Tomando ainda por definição que, em cada hectare de floresta, a quantidade de madeira é o dobro da quantidade de carbono, tem-se que:

$$P_c * t/2 - P_m * t > 0$$

$$(P_c/2 - P_m) * t > 0$$

Por definição, a biomassa florestal é um valor não negativo, destarte:

$$P_c/2 - P_m > 0 \Rightarrow P_c > 2 * P_m$$

Ou seja, caso a floresta fosse avaliada apenas como reservatório de carbono, o preço deste deveria ser no mínimo duas vezes maior que o preço da madeira, de modo a incentivar a manutenção da floresta sob as hipóteses e premissas assumidas. Sabidamente, há mais complexidade na questão e mais valor na floresta que apenas seu papel de reservatório/sumidouro de carbono.

Uma vez que o preço da tonelada de madeira nativa (ao redor R\$ 50/m³), em 2010, era muito superior ao preço da tonelada de carbono, não existiria incentivo financeiro suficiente para que os proprietários de terras com florestas as mantivessem de pé, apenas para fins de conservação do carbono estocado. Ademais, depois da floresta desmatada, a terra ainda

pode gerar um fluxo de renda (além da venda da madeira) oriundo de atividades agrárias ou pecuárias.

A REDD ainda é um mecanismo em desenvolvimento. Com o agravamento dos problemas climáticos, espera-se que ocorram elevações no preço do carbono. Nesse caso, a REDD poderá vir a ser uma alternativa atraente para que proprietários de terras florestadas as preservem.

Vale notar que os exercícios propostos são baseados em diversas premissas e fatores de conversão, valendo mais o exercício lógico do que o algébrico.

Exercício 3: Necessidade de recursos para fazer contrabalançar o desmatamento observado no país

Quais os recursos necessários que deveriam ser investidos em plantios para compensar as emissões atuais e futuras (horizonte de 10 anos)?

Com base nos dados do Exercício 1, item ii, as emissões por desmatamento e degradação somam cerca de 511,70 milhões de toneladas de CO₂ ao ano.

As florestas nacionais de eucalipto têm produtividade média de 42 m³/ha/ano, o que representa crescimento anual, em termos de biomassa, da ordem de 21 toneladas de madeira ou 10,5 toneladas de carbono estocadas por hectare, por ano (ou seja, sequestro de 38,53 toneladas de CO₂ por hectare, por ano). Em 10 anos de crescimento contínuo, a floresta sequestraria 385 toneladas de CO₂.

Assim sendo, para fazer a compensação de 511,70 milhões de toneladas de CO₂ emitidas pelo desmatamento recente (2006 a 2009) na Amazônia, seria necessária uma política pública para plantio de 1,32 milhão de hectares de florestas de eucalipto ao ano para um período de 10 anos.¹⁹ Naturalmente, mesmo com a extensão territorial brasileira, a triplicação da base de florestas plantadas no país geraria impactos significativos sobre a terra, seu preço e, por consequência, nos preços relativos dos produtos da terra: alimentos e biocombustíveis, em particular.

Considerando o custo de implantação de uma floresta de eucalipto (ao redor de R\$ 4 mil/hectare), seriam necessários R\$ 5,3 bilhões por ano.

¹⁹ O cálculo considerou o crescimento da floresta de eucalipto por 10 anos.

Caso a compensação fosse feita com espécies nativas, ao custo médio de R\$ 16 mil por hectare, o total subiria para quase R\$ 21,26 bilhões/ano.

Ou seja, de acordo com o exercício acima, parece muito mais caro compensar o desmatamento do que reduzi-lo.

Conclusões

O Protocolo de Quioto e seus mecanismos de flexibilização surgem como fontes de recursos para projetos de conservação de florestas, reflorestamento e redução de desmatamento e degradação. Porém, o Brasil tem aproveitado relativamente poucas tais oportunidades. O MDL poderia ser utilizado com maior frequência para financiar reflorestamentos em áreas degradadas por pastagens e outras atividades.

As emissões por desmatamento e degradação na Amazônia Legal foram estimadas em 511,70 milhões a 780 milhões de toneladas por ano (na hipótese de desmatamento por queimada), dependendo da taxa de desmatamento utilizada (11 mil ou 17 mil km² por ano), podendo ainda dobrar, se incluída a liberação do carbono estocado abaixo do solo.

A REDD poderá ser aproveitada pelo governo em conjunto com outras entidades, com a finalidade de angariar recursos que permitam tanto a redução do desmatamento como a própria conservação florestal (REDD+). O país poderia emitir 45,8 milhões de RCEs para cada 1.000 km² de desmatamento evitado, valor aproximado de US\$ 320 milhões a US\$ 640 milhões (dependendo do preço da tonelada de carbono, US\$ 7 ou US\$ 14).

O país possui grande quantidade de carbono estocado em suas florestas, o que significa elevados níveis de CO₂ retirados da atmosfera, sem nenhuma intervenção humana, sendo maior o volume estocado no bioma amazônico que no da Mata Atlântica. Uma vez que o bioma Amazônia é, em termos absolutos, o que possui a maior área intocada de florestas, é premente sua preservação.

Por possuir formações florestais em crescimento e regeneração constantes, o país contribui positivamente para a redução do efeito estufa – não fosse o elevado nível de emissões por desmatamento e degradação. Ou seja, o Brasil tem sistema autônomo de sequestro de carbono, o qual se optou por denominar “sequestro ecossistêmico de carbono” (isto é, independente da interferência humana). Tal argumento poderia ser utilizado

nas discussões internacionais acerca de emissões e imposições de limites às emissões.

Em termos de fluxo, as florestas de rápido crescimento, eucalipto e pínus aparecem sempre em primeiro lugar no *ranking* dos mais eficientes sumidouros florestais de carbono. Estudos apontam, entretanto, a não viabilidade econômica do plantio de florestas de rápido crescimento apenas para fins de sequestro de carbono (pelos atuais preços do carbono e custos de reflorestamento).

De acordo com as estimativas propostas, seria necessário o plantio de base florestal de eucaliptos de 1,32 milhão de hectares por ano crescendo por 10 anos para contrabalançar o desmatamento. O custo de um projeto nacional dessa natureza seria de R\$ 5,3 bilhões/ano, muitas vezes superior ao custo de fortalecimento dos órgãos de controle e gestão ambiental do país.

O desmatamento ou a exploração predatória de madeira impõem diferentes custos à sociedade, valendo citar: o custo de oportunidade de se vender a madeira (quando o desmatamento ocorre por queimada); o custo de perda de biodiversidade (literalmente inestimável ao atual “estado da arte” das ciências econômicas); o custo da emissão de CO₂ (que, cedo ou tarde, será cobrado de todas as nações que já tiverem alcançado certo nível de desenvolvimento ou renda *per capita*); e o custo de oportunidade por não receber créditos, via programas de REDD.

Por todo o exposto, vale levantar a seguinte questão: não seria o momento de aproveitar melhor as possibilidades e oportunidades criadas a partir do Protocolo de Quioto no que concerne ao desflorestamento, florestamento e reflorestamento no Brasil?

Anexo 1

De acordo com a Embrapa, para a avaliação do estoque de carbono de uma tipologia florestal em determinada região, é necessário quantificar a área de ocorrência das diferentes tipologias: florestas primárias e secundárias. Para tanto, utilizam-se sensores remotos, entre eles imagens de satélite, fotografias aéreas, sensores laser e videografia. Essas medidas relacionam os padrões obtidos pelos sensores com as diferentes tipologias vegetacionais existentes, possibilitando a mensuração de áreas heterogêneas por meio de análise (divisão do todo em partes), dividindo-as em pequenos fragmentos mais homogêneos.

Objetivando relacionar as informações contidas nos inventários fitosociológicos com a estimativa de biomassa, foram obtidas informações do diâmetro individual de 34 amostras representativas de diferentes formações arbóreas de variados ecossistemas atlânticos.

Ainda de acordo com o estudo, com base na informação do diâmetro dos espécimes que compõem cada uma das amostras, calculou-se a biomassa da floresta, utilizando-se a equação de Brown (1997):

$$Y = 21,297 - 6,953 (DAP) + 0,740 (DAP^2),$$

em que Y é a biomassa por árvore em kg, e DAP, o diâmetro a 1,3 m de altura do solo, em cm.

Estimativa do estoque de carbono em florestas nativas

Segundo Ueoka (2008), a equação que segue foi utilizada para fazer os cálculos de carbono fixado pelas florestas nativas no Brasil:

$$C = V * A * D * F$$

em que: C = estoque de carbono no campo (tonelada)

V = estoque de volume de madeira (m³/ha)

A = área total de floresta nativa (ha)

D = densidade básica média da madeira de floresta nativa (g/cm³)

F = fator de conversão de uma tonelada de madeira seca para tonelada de carbono, que, de acordo com o Protocolo de Quioto, é igual a 0,5

Já o balanço de carbono será dado pela equação que segue:

$$CF - CE = CC$$

Onde CF = carbono fixado pelo reflorestamento

CE = consumo energético na produção de papel e celulose

CC = crédito de carbono

Estoque de carbono

Biomassa é massa de origem biológica, viva ou morta, animal ou vegetal (Sanquetta [2002]). O acúmulo de biomassa em árvores difere em cada local onde é medida, refletindo uma variação causada por fatores ambientais e os inerentes à própria planta. Segundo Caldeira (2002), a acumulação da biomassa é influenciada por todos os fatores que afetam a fotossíntese e a respiração, como luz, temperatura, concentração de CO₂ no ar, umidade e fertilidade do solo. Outros fatores, como fungicidas, inseticidas e doenças, além de aspectos internos que incluem a idade das folhas, sua estrutura, disposição e teor de clorofila, também influenciam na acumulação de biomassa. Carbono captado pode ser quantificado pela estimativa da biomassa da planta acima e abaixo do solo.

Estimativa da biomassa aérea

Para a estimativa da biomassa aérea, geralmente utilizam-se inventários fitossociológicos, que se baseiam nos dados do diâmetro individual das árvores, necessário para estimar a biomassa aérea. Com base no diâmetro dos espécimes que compõem cada uma das amostras fitossociológicas, calculou-se a biomassa da floresta, utilizando-se a equação de Brown:

$$Y = 21,297 - 6,953 (DAP) + 0,740 (DAP^2),$$

em que Y é a biomassa por árvore em kg, e DAP o diâmetro a 1,3 m de altura do solo, em cm.

Estoque de carbono no componente-raiz

Estudos sobre estoque e dinâmica de sistema radicular de espécies arbóreas são escassos e apresentam uma grande variabilidade, dificultando o desenvolvimento de modelos para estimativa de biomassa. Os métodos de estudos e quantificação de raiz podem ser agrupados de

maneira geral em diretos e indiretos e métodos de campo e de recipientes. Como método direto, a escavação ou retirada de todo o sistema radicular é bastante precisa, não apenas para biomassa, mas para estudos ecológicos e fisiológicos. Os métodos indiretos são baseados em alterações na quantidade de água ou nutrientes em diferentes camadas de solo entre sucessivas coletas de amostras [Britez *et al.* (2006)].

Estoque de carbono na serapilheira

A biomassa morta na superfície do solo tem sido avaliada em estudos de ciclagem de nutrientes, em que é quantificada pela queda de serapilheira e o seu acúmulo sobre o solo. A maior parte desses estudos não avalia o acúmulo de material acima de 10 cm de diâmetro, isto é, os troncos de árvores mortas, que podem atingir de 10% a 20% da biomassa acima do solo [Brown (2002)].

A serapilheira exerce um papel fundamental no ciclo do carbono. Sua importância reside na capacidade de acumulação de altos teores de carbono, três vezes maiores que os atmosféricos [Coûteaux e Berg (1995)], e no papel regulador do fluxo dos elementos químicos entre a vegetação, o solo e a atmosfera. A estimativa do estoque de carbono fixado na biomassa das diferentes frações da serapilheira produzida foi calculada por meio da multiplicação dos valores da biomassa seca das amostras pelo fator 0,37 recomendado pelo IPCC.

Estoque de carbono no solo

O estoque de carbono no solo é composto pela adição de material vegetal morto. Os processos de transformação do carbono no solo são fortemente influenciados pelo clima, tipo e qualidade da matéria orgânica e suas associações químicas e físico-químicas com os componentes minerais do solo [Machado (2005)]. Os três principais processos responsáveis pelo sequestro de carbono no solo são humificação, agregação e sedimentação. Um dos fatores mais importantes nesse processo é a agregação do solo realizada pela ação de fungos e substâncias orgânicas provenientes das raízes. Outro fator observado no Brasil foi a adoção do plantio direto.

Referências

- ADUAN, R. E; VILELA, M. F.; KLINK, C. A. Ciclagem de carbono em ecossistemas terrestres. O caso do cerrado brasileiro. *Documentos 105*. Embrapa, 2003.
- BEEDLOW, P. A. *et al.* Rising atmospheric CO₂ and carbon sequestration in forests. *Frontiers in Ecology and the Environment* 2(6): 315-322, 2004.
- BRASIL – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *Status atual das atividades de projeto no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no Brasil e no mundo. Última compilação do site da CQNUMC: abril de 2010.* Disponível em: <http://www.jmalucelliecmambiental.com.br/images/status_atividades%20_md1.pdf>. Acesso em: 10 de dezembro de 2009.
- BRITZ, R. M. de *et al.* Estoques e incremento de carbono em florestas e povoamentos de espécies arbóreas com ênfase na floresta atlântica do sul do Brasil. Colombo: Embrapa Florestas, 2006, 165 p.
- BROWN, S. Estimating biomass and biomass change in tropical forests: a primer. Rome: FAO, *Forestry Paper*, 134, 1997.
- CALDEIRA, M. V. W. *et al.* Carbono orgânico em solos florestais. *As florestas e o carbono*. Cap. 10, p. 191-214, Curitiba, 2002.
- CANAVEIRA, P. *Papel dos sumidouros na economia do carbono*. As alterações climáticas e a economia do carbono. Associação da Indústria Papeleira (Celpa), fevereiro de 2006.
- CEPEA – CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. *Características dos projetos brasileiros de MDL e sua representatividade no contexto mundial*. ESALQ-USP, 2006.
- CGEE – CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. *Relatório preliminar do estudo incremento do carvão vegetal renovável na siderurgia brasileira*. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2009, 132 p.
- CORREIA, A. *et al.* *O sequestro de carbono em ecossistemas de pinhal manso no sul de Portugal*. Instituto Superior de Agronomia/Departamento de Engenharia Florestal. Disponível em: <www.apea.pt/xFiles/scContentDeployer_pt/docs/Doc141.pdf>.
- . *Balanço de carbono no eucaliptal* – Comparação entre o fluxo turbulento de CO₂ e a estimativa do modelo CO₂ FIX V3.1. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia, Instituto Superior Técnico, 2003.

COÛTEAUX, M. M.; BERG, P. B. B. Litter decomposition, climate and litter quality. *Trends in Ecology and Evolution* 10, p. 63-65, 1995.

FALKOWSKI, P. G. The ocean's invisible forest. *Scientific American*, 2002.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. *Situación de los bosques del mundo*. Roma, 2009.

FEARNSIDE, P. M. Estoque e estabilidade do carbono nos solos da Amazônia brasileira. In: TEIXEIRA, W. *et al.* (eds.) *As Terras Pretas de Índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas*. CD-Book. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 416 p.

FEARNSIDE, P. M.; GUIMARÃES, W. M. Carbon uptake by secondary forests in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 80, p. 35-36, 1996.

FRONDIZI, I. M. R. L (coord.). *O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL*. Guia de Orientação. Rio de Janeiro: Imperial Novo Milênio, FIDES, 2009.

FUNDAÇÃO BRASILEIRA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. Sequestro de CO₂ e o custo de reflorestamento com *Eucalyptus spp* e *Pinus spp* no Brasil. 2003. Disponível em: <http://www.fbds.org.br/IMG/rtf/doc-23.rtf>.

GEROMINI, M. P. *Análise quali quantitativa do balanço de carbono em empresa do setor florestal destinada à produção de molduras*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Regional de Blumenau, 2004.

GRUPO PLANTAR. *Projeto Carbono*. Disponível em <http://www.plantar.com.br/>.

HIGUCHI, N. *et al.* Dinâmica e balanço do carbono na vegetação primária da Amazônia Central. *Floresta* 34. Curitiba: (3)set./dez. 2004, p. 295-304.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=169 Mapas de Biomas e Vegetação do Brasil.

———. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 18.8.2009.

IETA – INTERNATIONAL EMISSION TRADING ASSOCIATION. *Brazil opens carbon credit market*. Disponível em <http://www.ieta.org/ieta/www/pages/index.php?IdSitePage=95>.

IPCC – PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇA CLIMÁTICA. Novos Cenários Climáticos. *Relatório do IPCC*, 2007.

KAUFMAN, Y. J. *et al.* Remote sensing of biomass burning in the tropics. In: GOLDAMMER, J. G. (comp.). *Fire in the tropical and subtropical biota*. Heidelberg: Springer-Verlag, 1990, p. 371-399, 490 p.

LOPES, Ignez Vidigal (coord.). *O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL: guia de orientação*. Rio de Janeiro: Fundação Getulio Vargas, 2002, 90 p.

MACHADO, P. O. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. *Química Nova*, v. 28 (2), p. 239-334, 2005.

MAESTRI, R. *et al.* Viabilidade de um projeto florestal de eucalyptus grandis, considerando o sequestro de carbono. *Floresta*. Curitiba: 34 (3), p. 347-360, set.-dez. 2004.

MIRANDA, A. C. *et al.* Fluxes of carbon, water and energy over Brazilian Cerrado: an analysis using eddy covariance and stable isotopes. *Plant Cell and Environment*, v. 20, n. 3, p. 315-328, 1997.

MOUTINHO P.; NEPSTAD D. As funções ecológicas dos ecossistemas florestais: aplicações para a conservação e uso da biodiversidade amazônica. In: CAPOBIANCO, J. P. *et al.* (orgs). *Biodiversidade na Amazônia brasileira: avaliação e ações prioritárias para a conservação, uso sustentável e repartição de benefícios*. São Paulo: Estação Liberdade, Instituto Socioambiental, 2001.

NOBRE C. A.; NOBRE, A. D. O balanço de carbono da Amazônia brasileira. *Estudos avançados*, São Paulo, v. 16, n. 45, 2002.

PAIVA, A. O; FARIA, G. E. Estoque de carbono do solo sob cerrado *stricto sensu* no Distrito Federal. Brasil. *Revista Tropical – Ciências Agrárias e Biológicas*, v. 1, n. 1, p. 59, 2007.

RIBEIRO, S. C. *et al.* Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de carbono em uma floresta madura no município de Viçosa, Minas Gerais. *Revista Árvore*, v. 33, n. 5, set./out. 2009.

SANQUETTA, C. R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R. *et al.* *As florestas e o carbono*. Curitiba: SciELO Scientific Electronic Library Online, 2002, p. 119-140.

SANTOS, F. C. C. *et al.* Estimativa do estoque de carbono na biomassa viva acima do solo em floresta secundária de Mata Atlântica – Município Engenheiro Paulo de Frontin, RJ. *Anais do IX Congresso de Ecologia do Brasil*, 13 a 17 set. 2009, São Lourenço.

SCARPINELLA, G. A. *Reflorestamento no Brasil*. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo (USP). São Paulo, 2002, 182 p.

SILVA, J. E. *et al.* Carbon storage in clayey Oxisol cultivated pastures in the “Cerrado” region, Brazil. *Embrapa Cerrados*, jun. 2004.

SOMMER, R.; DENICH, M.; VLEK, P. L. G. Carbon storage and root penetration in deep soils under small-farmer land-use systems in the Eastern Amazon region, Brazil. *Plant and soils*, v. 219, n. 1-2, mar. 2000.

TANIZAKI, K. FONSECA. Reducing uncertainties of carbon stock in tropical forest. *Anais do 4th International Symposium Environmental Geochemistry in Tropical Countries*. Búzios, 2004.

TIAN, H. *Effects of interannual climate variability on carbon storage in Amazonian ecosystems*. The Ecosystems Center, Massachusetts, Woods Hole: Marine Biological Laboratory, 2007.

UEOKA, K. de S. *Balanço de carbono das indústrias de celulose e papel do Brasil*. (Monografia). UFRRJ, fev. 2008.

UFPR; ECOPLAN. *Estudo de viabilidade para implantação de florestas fixadoras de carbono: estudo de caso no sul do Estado do Paraná*. Curitiba, 2003, 93 p.

UNIVERSITY OF OREGON. 2006. *Greenhouse effect*. Disponível em: <<http://zebu.uoregon.edu/1998/es202/113.html>>.

VALÉRIO, F. A. *et al.* Quantificação de biomassa e do estoque de carbono em área de Mata Atlântica. *Anais da 58ª Reunião Anual da SBPC*. Florianópolis, jul. 2006.

WARD, D. E. Field scale measurements of emission from open fires. Trabalho técnico apresentado ao Defense Nuclear Agency Global Effects Review, Defense Nuclear Agency, Washington, D.C., 1986.

WATSON, R. T. *et al.* Land-use, land-use change and forestry: a special report of the IPCC. Cambridge: Cambridge University Press, 2000, 377 p.

WATZLAWICK, L. F.; SANQUETTA, C. R.; CALDEIRA, M. V. W. Estoque de carbono orgânico e biomassa em *Pinus taeda*. *Biomassa e energia*, v. 2, p. 7-17, 2005.

WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT DER BUNDESREGIERUNG GLOBALE UMWELTVERÄNDERUNGEN. *Die Anrechnung biologischer Quellen und Senken im Kyoto-Protokoll: Fortschritt oder Rückschlag für den globalen Umweltschutz.* Bremerhaven: WBGU, 1998. 76 p. Sondergutachten.