

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Metodologia para projetos florestais de crédito de carbono
envolvendo a conversão da exploração madeireira convencional
para o manejo florestal com exploração de impacto reduzido**

Thales Augusto Pupo West

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências, Programa: Recursos
Florestais. Opção em: Conservação de
Ecossistemas Florestais

**Piracicaba
2012**

Thales Augusto Pupo West
Engenheiro Florestal

**Metodologia para projetos florestais de crédito de carbono envolvendo a
conversão da exploração madeireira convencional para o manejo florestal com
exploração de impacto reduzido**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 5890 de 2010

Orientador:
Prof. Dr. **EDSON JOSÉ VIDAL DA SILVA**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências, Programa: Recursos
Florestais. Opção em: Conservação de
Ecossistemas Florestais

**Piracicaba
2012**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP**

West, Thales Augusto Pupo

Metodologia para projeto florestais de crédito de carbono envolvendo a conversão da exploração madeireira convencional para o manejo florestal com exploração de impacto reduzido / Thales Augusto Pupo West. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 5890 de 2010. - - Piracicaba, 2012.

209 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2012.

1. Carbono 2. Conservação ambiental 3. Exploração florestal 4. Florestas - Amazônia
5. Madeira 6. Manejo florestal 7. Mudança climática I. Título

CDD 634.94
W521m

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação aos meus Pais,
Walter Francisco West e Maria da Graça Pupo West,
pelo apoio e confiança, sempre.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus.

Agradeço aos meus Pais, meus Avós e minha Família.

Agradeço ao meu Professor Orientador, Dr. Edson José Vidal da Silva.

Agradeço aos membros da comissão julgadora.

Agradeço aos meus Professores durante a graduação e o mestrado, em especial ao professor Hilton Thadeu Zarate do Couto.

Agradeço aos Professores que me auxiliaram com as análises estatísticas dos dados: Dr. Edwin Moises Marcos Ortega, Dra. Renata Alcarde, Dra. Roseli Aparecida Leandro, Dr. César Gonçalves de Lima, Dr. Hilton Thadeu Zarate do Couto e ao Eng. Agrônomo Marcelo Corrêa Alves.

Agradeço aos Professores e Colaboradores da Universidade da Florida: Dr. Tim Martin, Dr. Carlos Gonzalez, Dr. Jack Putz e Dra. Claudia Romero; e à equipe do *Carbon Resource Science Center*.

Agradeço à *Rainforest Alliance*, à *Verified Carbon Standard Association* e ao Dr. Eduard Merger.

Agradeço aos amigos de classe da graduação e aos meus irmãos da república Maracangalha.

Agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela Bolsa de Mestrado e interesse no tema desta dissertação.

Agradeço à todos que de alguma forma me auxiliaram durante o desenvolvimento desta dissertação.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| RESUMO..... | 11 |
| ABSTRACT | 13 |
| LISTA DE FIGURAS | 15 |
| LISTA DE TABELAS | 19 |
| LISTA DE QUADROS | 21 |
| LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS | 23 |
| 1 INTRODUÇÃO GERAL | 25 |
| 1.1 Introdução | 25 |
| 1.2 Revisão Bibliográfica | 27 |
| 1.2.1 Aquecimento global..... | 27 |
| 1.2.1.1 Emissões mundiais de GEE | 33 |
| 1.2.1.2 Emissões brasileiras de GEE | 34 |
| 1.2.1.3 Biomassa e carbono..... | 35 |
| 1.2.1.4 Florestas e o aquecimento global..... | 35 |
| 1.2.1.5 Sequestro de carbono pelos ecossistemas florestais..... | 37 |
| 1.2.1.6 Estoques carbono e biomassa em ecossistemas florestais | 39 |
| 1.2.1.7 Opções florestais de mitigação das mudanças do clima | 43 |
| 1.2.2 Conferências do Clima e o Protocolo de Kyoto | 44 |
| 1.2.2.1 Desenvolvimento sustentável | 47 |
| 1.2.2.2 Acordo de Bonn..... | 47 |
| 1.2.2.3 Acordo de Marrakesh | 48 |
| 1.2.2.4 Ratificação do Protocolo..... | 49 |
| 1.2.2.5 Pagamento por serviços ambientais..... | 49 |
| 1.2.2.6 Mecanismos de flexibilização do Protocolo de Kyoto | 52 |
| 1.2.2.7 Créditos de carbono | 53 |
| 1.2.2.8 Atividades de projetos florestais..... | 56 |
| 1.2.2.9 REDD+ | 57 |
| 1.2.4 Mercado voluntário de carbono | 60 |
| 1.2.4.1 Padrões do mercado voluntário de carbono | 62 |
| 1.2.5 Tipos de atividades de uso da terra elegíveis no âmbito do VCS | 64 |
| 1.2.5.1 Florestamento, Reflorestamento e Revegetação – ARR..... | 64 |
| 1.2.5.2 Desmatamento Evitado – REDD | 65 |

| | |
|---|-----------|
| 1.2.5.3 Melhorias do Manejo Florestal – IFM..... | 65 |
| 1.2.6 Desmatamento em florestas tropicais..... | 67 |
| 1.2.7 Manejo florestal com Exploração de Impacto Reduzido – MF-EIR..... | 69 |
| 1.2.7.1 Conversão da EC para o MF-EIR..... | 71 |
| 1.2.7.2 Impacto do manejo florestal nos estoques de carbono..... | 73 |
| 1.3 Material e Métodos..... | 76 |
| 1.3.1 Área de estudo..... | 76 |
| 1.3.2 Coleta de dados..... | 77 |
| Referências..... | 79 |
| 2 METODOLOGIA PARA PROJETOS DE CRÉDITO DE CARBONO ENVOLVENDO A CONVERSÃO DA EXPLORAÇÃO MADEIREIRA CONVENCIONAL PARA O MANEJO FLORESTAL COM EXPLORAÇÃO DE IMPACTO REDUZIDO..... | 87 |
| Resumo..... | 87 |
| Abstract..... | 87 |
| 2.1 Introdução..... | 88 |
| 2.2 Revisão Bibliográfica..... | 89 |
| 2.2.1 Metodologias para projetos florestais de carbono..... | 89 |
| 2.2.2 Conceitos envolvidos em projetos florestais de carbono..... | 94 |
| 2.2.2.1 Elegibilidade da área do projeto..... | 94 |
| 2.2.2.2 Linha de base..... | 95 |
| 2.2.2.3 Adicionalidade..... | 96 |
| 2.2.2.4 Estoques de carbono..... | 97 |
| 2.2.2.5 Carbono no reservatório da biomassa viva..... | 98 |
| 2.2.2.6 Emissões do projeto..... | 103 |
| 2.2.2.7 Vazamento..... | 105 |
| 2.2.2.8 Vazamento de mercado do VCS..... | 107 |
| 2.2.2.9 Monitoramento..... | 109 |
| 2.2.2.10 Verificação..... | 110 |
| 2.2.2.11 Estimativa da média do benefício a longo-prazo do carbono..... | 112 |
| 2.2.2.12 A questão da não-permanência dos créditos florestais..... | 113 |
| 2.3 Material e Métodos..... | 114 |
| 2.4 Resultados..... | 116 |
| 2.5 Discussão..... | 117 |
| 2.6 Conclusões..... | 119 |

| | |
|---|-----|
| Referências | 119 |
| 3 PROJETO DE CRÉDITO DE CARBONO ENVOLVENDO A CONVERSÃO DA EXPLORAÇÃO MADEIREIRA CONVENCIONAL PARA O MANEJO FLORESTAL COM EXPLORAÇÃO DE IMPACTO REDUZIDO | 123 |
| Resumo | 123 |
| Abstract | 123 |
| 3.1 Introdução | 124 |
| 3.2 Revisão Bibliográfica | 125 |
| 3.2.1 Projetos florestais de carbono | 125 |
| 3.2.2 Etapas para o desenvolvimento de um projeto de carbono..... | 126 |
| 3.2.2.1 Ciclo de projeto no âmbito do MDL | 126 |
| 3.2.2.2 Ciclo de projeto no âmbito do VCS | 127 |
| 3.3 Material e Métodos..... | 128 |
| 3.3.1 Tratamento dos dados..... | 128 |
| 3.3.2 Estimativa do carbono | 129 |
| 3.3.3 Créditos de carbono do projeto | 131 |
| 3.3.4 Análise estatística dos dados | 132 |
| 3.3.4.1 Comparação do carbono entre os tratamentos MF-EIR e EC..... | 133 |
| 3.4 Resultados | 133 |
| 3.4.1 Dinâmica dos estoques de carbono dos tratamentos..... | 133 |
| 3.4.2 Comparação entre os estoques de carbono pré e pós-exploração | 137 |
| 3.4.3 Comparação entre os tratamento MF-EIR e EC..... | 143 |
| 3.4.4 Estimativa do volume de créditos de carbono do projeto | 146 |
| 3.5 Discussão..... | 149 |
| 3.6 Conclusão | 150 |
| Referências | 151 |
| 4 AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM PROJETO DE CRÉDITO DE CARBONO ENVOLVENDO A CONVERSÃO DA EXPLORAÇÃO MADEIREIRA CONVENCIONAL PARA O MANEJO FLORESTAL COM EXPLORAÇÃO DE IMPACTO REDUZIDO | 155 |
| Resumo | 155 |
| Abstract | 156 |
| 4.1 Introdução | 156 |
| 4.2 Revisão Bibliográfica | 157 |

| | |
|--|-----|
| 4.2.1 Mercado de carbono | 157 |
| 4.2.2 Mercado de carbono florestal | 159 |
| 4.2.3 Preços do carbono florestal | 161 |
| 4.2.4 Expectativas sobre o carbono florestal | 163 |
| 4.3 Material e Métodos | 166 |
| 4.3.1 Viabilidade econômica do projeto de carbono | 166 |
| 4.3.2 <i>Trade-off</i> do início do segundo ciclo de exploração florestal pelo PSA | 167 |
| 4.4 Resultados..... | 167 |
| 4.5 Discussão | 176 |
| 4.6 Conclusão..... | 177 |
| Referências..... | 177 |
| 5 CONCLUSÕES GERAIS | 181 |
| ANEXOS..... | 183 |

RESUMO

Metodologia para projetos florestais de crédito de carbono envolvendo a conversão da exploração madeireira convencional para o manejo florestal com exploração de impacto reduzido

As crescentes preocupações com a mitigação das mudanças do clima levaram à criação de mecanismos de mercado que recompensassem financeiramente ações adicionais de remoção de gases do efeito estufa da atmosfera através de projetos voltados ao mercado de carbono. Embora, no âmbito do Protocolo de Kyoto, apenas atividades florestais de florestamento e reflorestamento sejam consideradas elegíveis, a maturação do mercado voluntário de carbono levou regimes de mercado como o *Verified Carbon Standard* (VCS) a aceitarem, entre outras, atividades de projeto envolvendo a melhoria do manejo florestal, incluindo a conversão da exploração madeireira convencional (EC) para o manejo florestal com exploração de impacto reduzido (MF-EIR), atividade esta que, muito provavelmente, estará inclusa no escopo de um futuro programa florestal de mitigação das mudanças do clima, o REDD+ (redução de emissões do desmatamento e degradação florestal mais os benefícios do sequestro de carbono através de melhorias do manejo florestal). Utilizando uma série histórica de 16 anos de dados de uma área florestal explorada através da EC e do MF-EIR em Paragominas, Estado do Pará, estimou-se os impactos dos tratamentos na dinâmica do carbono ao longo do tempo, sob a perspectiva de um projeto florestal de crédito de carbono envolvendo a conversão da EC para o MF-EIR. A comparação entre os tratamentos MF-EIR e EC em relação às taxas de regeneração dos estoques de carbono apontou diferenças estatísticas significativas ($P < 0,001$). O tratamento MF-EIR apresentou um incremento médio observado de $12,30 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e estimado de $13,01 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, enquanto que o tratamento EC apresentou um incremento médio observado de $5,42 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e estimado de $5,43 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. O volume de créditos de carbono estimado para o projeto envolvendo a conversão da EC para o MF-EIR foi de $61,81 \text{ VCU} \text{ ha}^{-1}$. Considerando um *buffer* de créditos da ordem de 15%, o volume dos créditos passível de comercialização passou para $52,54 \text{ VCU} \text{ ha}^{-1}$. A análise econômica realizada, considerando cenários distintos envolvendo a área do projeto (500; 1.000; 5.000; e 10.000 ha) e o preço do crédito de carbono (US\$ 5,00; US\$ 7,50; e US\$ 10,00 unidade⁻¹), resultou em uma matriz de resultados onde apenas projetos com área superior a 1.000 ha seriam possivelmente viáveis economicamente à atividade de projeto de carbono em questão. Por fim, o valor mínimo estimado do crédito de carbono para que não haja prejuízo financeiro aos madeireiros pela postergação do início do segundo ciclo de corte na área do projeto, tempo necessário para que os estoques de carbono da biomassa arbórea viva atinjam seu valor inicial pré-exploração, foi de US\$ 5,33 por unidade, estando dentro da faixa de preços praticados pelo mercado de carbono apontada pela literatura. Ainda, destaca-se que incluir o reservatório de matéria morta em atividades de projetos de carbono envolvendo a conversão da EC para o MF-EIR contradiz os conceitos de pagamento por serviços ambientais, uma vez que se passa a atribuir a mesma importância do carbono no reservatório de carbono da biomassa viva e para o carbono no reservatório da matéria morta.

Palavras-chave: Crédito de carbono; Melhoria do manejo florestal; VCS; REDD+; Mitigação das mudanças do clima; Dinâmicas do carbono; Exploração convencional, Exploração de Impacto Reduzido, Floresta amazônica

ABSTRACT

Methodology for calculating carbon credits for forest projects involving the conversion from conventional to reduced-impact logging

Growing concerns over global climate change led to the development of market mechanisms that financially compensate additional retention or sequestration of greenhouse gases (GHGs). While under the Kyoto Protocol only forest activities related to afforestation and reforestation are eligible for compensation, maturation of voluntary carbon markets led to schemes such as the Verified Carbon Standard (VCS) to accept other sorts of forest-based offsets, such as the conversion from conventional logging (CL) to reduced-impact logging (RIL). It is anticipated that this sort of activity will also be included in the scope of the future REDD+ program (reduced emissions from deforestation and forest degradation plus the carbon sequestration benefits of improved forest management). Carbon dynamics over a 16 year period after CL and RIL in Paragominas, Pará State, Brazil was assessed. The observed and estimated mean annual increments in carbon stocks after RIL were 12.30 Mg C ha⁻¹ yr⁻¹ and 13.01 Mg C ha⁻¹ yr⁻¹. After CL, in contrast, the annual increments in carbon stocks (observed and estimated) were only 5.42 Mg C ha⁻¹ yr⁻¹ and 5.43 Mg C ha⁻¹ yr⁻¹, respectively. The amount of carbon credits estimated for the project involving the conversion from CL to RIL was 61.81 VCUs ha⁻¹. Assuming buffer credits of 15%, tradable carbon was reduced to 52.54 VCUs ha⁻¹. The economic analysis performed, considering different scenarios involving the project area (500; 1,000; 5,000 and 10,000 ha) and carbon credit prices (USD 5.00; USD 7.00 and USD 10.00 unit⁻¹), resulted in an array of results where only projects >1,000 ha would likely be economically viable. Finally, the minimum estimated carbon credit price that would imply in no financial loss to loggers by delaying the start of the second cutting cycle, that is, the, time required for the live carbon stocks to reach their pre-logging values, was USD 5.33 per unit, which is within the range of prices observed on the current carbon market. It is noteworthy that accounting for the dead wood pool in carbon projects activities involving the conversion from CL to RIL contradicts the concept of payment for environmental services, as it assigns the same importance for carbon in the living biomass pool and in the dead wood pool.

Keywords: Carbon offsets; Improved forest management; VCS; REDD+; Climate change mitigation; Carbon dynamics; Conventional logging, Reduced impact logging, Amazon rainforest

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| Figura 1 – Variações nas concentrações atmosféricas de CO ₂ , CH ₄ e N ₂ O ao longo dos últimos 10.000 anos (gráficos grandes) e desde 1750 (gráficos inseridos)..... | 29 |
| Figura 2 – Ciclo global do carbono para os anos 90 mostrando os fluxos anuais, em gigatoneladas de carbono por ano (Gt C ano ⁻¹), de algumas das fontes mais importantes..... | 36 |
| Figura 3 – Impacto do PSA na dinâmica dos estoques florestais de carbono em relação a diferentes linhas de base..... | 51 |
| Figura 4 – Funcionamento de um projeto de REDD. O nível de referência é estabelecido durante o período de referência (nesse exemplo de 1990 a 2005). A geração de créditos a partir dessa linha de base começa durante o período de crédito. Reduções de emissões que ocorrem abaixo da linha de base histórica são contabilizadas como adicionais (créditos)..... | 59 |
| Figura 5 – Florestas tropicais do mundo | 68 |
| Figura 6 – Variação do estoque de carbono na floresta através da adoção de técnicas de EIR | 73 |
| Figura 7 – Dinâmica do carbono pós-exploração EC e pós-colheita através da EIR, para diferentes taxa de crescimento | 75 |
| Figura 8 – Localização da área de estudo | 77 |
| Figura 9 – Localização dos tratamentos na área de estudo..... | 78 |
| Figura 10 – Processo de aprovação de metodologias no VCS | 92 |
| Figura 11 – Localização dos projetos florestais de carbono registrados nos regimes regulados e voluntários do mercado de carbono..... | 126 |
| Figura 12 – Ciclo de um projeto no âmbito do MDL | 127 |
| Figura 13 – Dinâmica do carbono total em cada tratamento para o Grupo 1 (5,25 ha), valores absolutos | 135 |
| Figura 14 – Dinâmica do carbono total em cada tratamento para o Grupo 1 (5,25 ha), valores relativos | 135 |
| Figura 15 – Dinâmica do carbono total em cada tratamento para o Grupo 2 (24,5 ha), valores absolutos | 136 |
| Figura 16 – Dinâmica do carbono total em cada tratamento para o Grupo 2 (24,5 ha), valores relativos | 136 |

| | |
|---|-----|
| Figura 17 – Média dos estoques de carbono da biomassa arbórea viva nas 28 sub-parcelas amostradas e seus intervalos de confiança (probabilidade de 95%) para cada ano do inventário florestal no tratamento MF-EIR..... | 139 |
| Figura 18 – Média dos estoques de carbono da biomassa arbórea viva nas 28 sub-parcelas amostradas e seus intervalos de confiança (probabilidade de 95%) para cada ano do inventário florestal no tratamento EC | 141 |
| Figura 19 – Média dos estoques de carbono da biomassa arbórea viva nas 28 sub-parcelas amostradas e seus intervalos de confiança (probabilidade de 95%) para cada ano do inventário florestal no tratamento de controle | 143 |
| Figura 20 – Valores observados do estoque de carbono arbóreo amostrado nas sub-parcelas do tratamento MF-EIR e linha de tendência do modelo ajustado..... | 144 |
| Figura 21 – Valores observados do estoque de carbono arbóreo amostrado nas sub-parcelas do tratamento EC e linha de tendência do modelo ajustado | 145 |
| Figura 22 – Dinâmica do estoque de carbono observada para o projeto e estimada para a linha de base, em Mg CO ₂ -e..... | 148 |
| Figura 23 – Dinâmica do carbono adicional resultado da atividade do projeto e os volumes de créditos de carbono emitidos nas verificações | 148 |
| Figura 24 – Volume das transações de créditos de carbono envolvendo as atividades de uso da terra no mercado voluntário de carbono, Mt CO ₂ e..... | 160 |
| Figura 25 – Histórico das transações de créditos florestais de carbono nos mercados de carbono regulado e voluntário, (a) volume e (b) valores..... | 161 |
| Figura 26 – Histórico das flutuações nos preços dos créditos florestais nos mercados de carbono regulado e voluntário, preços médios. | 162 |
| Figura 27 – Fatores mais importantes nos projetos florestais considerados por compradores do mercado de carbono | 163 |
| Figura 28 – Padrões de carbono para projetos florestais classificados pelo interesse dos compradores do mercado de carbono | 164 |
| Figura 29 – Tipos de atividades dos projetos florestais classificados pelo interesse dos compradores do mercado de carbono | 164 |
| Figura 30 – Localização geográfica dos projetos florestais classificada pelo interesse dos compradores do mercado de carbono | 165 |
| Figura 31 – Preço que os compradores do mercado de carbono esperam pagar pela tonelada dos créditos de projetos florestais, divididos por região | 165 |

Figura 32 – Valores observados para o estoque de carbono da biomassa arbórea viva na área dos tratamentos MF-EIR e EC e as linha de tendência do modelo ajustado.....170

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 1 – Aumento da concentração de GEE: período pré-industrial – 2005 | 30 |
| Tabela 2 – Emissões mundiais de GEE | 33 |
| Tabela 3 – Emissões de GEE: Países do Anexo I | 33 |
| Tabela 4 – Emissões de GEE: Países do Não-Anexo I..... | 34 |
| Tabela 5 – Emissões brasileiras de GEE | 35 |
| Tabela 6 – Incremento anual de carbono em florestas naturais..... | 39 |
| Tabela 7 – Estoques de carbono em florestas naturais..... | 41 |
| Tabela 8 – Valores estimados para carbono seqüestrado ou conservado ao longo do tempo para diferentes atividades florestais na região tropical..... | 44 |
| Tabela 9 – Gases do efeito estufa e seus potenciais de aquecimento global | 55 |
| Tabela 10 – Metodologias florestais A/R aprovadas pela UNFCCC..... | 90 |
| Tabela 11 – Metodologias florestais aprovadas pela VCS Association..... | 93 |
| Tabela 12 – Condições para elegibilidade da área de projetos no VCS | 95 |
| Tabela 13 – Equações alométricas para a biomassa arbórea acima do solo | 99 |
| Tabela 14 – Equações alométricas para a biomassa das raízes | 100 |
| Tabela 15 – Valores padrão para a relação raiz : biomassa acima do solo | 102 |
| Tabela 16 – Valores padrão para a fração carbono da biomassa florestal seca | 103 |
| Tabela 17 – Valores padrão do fator de emissão de veículos e máquinas <i>off-road</i> utilizados em atividades florestais | 105 |
| Tabela 18 – Fatores de desconto para vazamento de mercado do VCS | 108 |
| Tabela 19 – Estoques de carbono e CO ₂ -e e sua equivalência em relação ao estoque inicial pré-atividade do projeto (%), para o Grupo 1 (5,25 ha) | 134 |
| Tabela 20 – Estoques de carbono e CO ₂ -e e sua equivalência em relação ao estoque inicial pré-atividade do projeto (%), para o Grupo 2 (24,5 ha) | 134 |
| Tabela 21 – Resultados dos testes de Shapiro-Wilk, da assimetria da distribuição dos dados e dos testes estatísticos pareados aplicados de t Student e Wilcoxon para as comparações entre os estoques de carbono da biomassa arbórea viva nos anos de inventário florestal no tratamento MF-EIR..... | 138 |
| Tabela 22 – Resultados dos testes de Shapiro-Wilk, da assimetria da distribuição dos dados e dos testes estatísticos pareados aplicados de t Student e Wilcoxon para | |

| | |
|--|-----|
| as comparações entre os estoques de carbono da biomassa arbórea viva nos anos de inventário florestal no tratamento EC..... | 140 |
| Tabela 23 – Resultados dos testes de Shapiro-Wilk, da assimetria da distribuição dos dados e dos testes estatísticos pareados aplicados de t Student e Wilcoxon para as comparações entre os estoques de carbono da biomassa arbórea viva nos anos de inventário florestal no tratamento de controle | 142 |
| Tabela 24 – Variação dos estoques de carbono da biomassa arbórea viva pós-exploração madeireira em relação ao primeiro ano pós-exploração, valores observados (inventário florestal) e estimados (modelos), Mg C ha ⁻¹ | 146 |
| Tabela 25 – Estimativa dos créditos de carbono gerados pelo projeto de MF-EIR em função da linha de base, do fator de redução atrelado à exploração madeireira convencional e as remoções líquidas do projeto | 147 |
| Tabela 26 – Evolução do mercado de carbono, em bilhões de dólares | 159 |
| Tabela 27 – Transações no mercado voluntário de carbono, 2009 e 2010 | 159 |
| Tabela 28 – Custos considerados para as atividades atreladas ao projeto florestal de carbono..... | 168 |
| Tabela 29 – Dinâmica do carbono da biomassa arbórea acima do solo pós-exploração madeireira, para os tratamentos MF-EIR e EC, Mg C ha ⁻¹ | 169 |
| Tabela 30 – Estimativa ex ante do volume de créditos de carbono (continua)..... | 171 |
| Tabela 31 – Custos considerados das atividades atreladas ao projeto para efeito das análises econômicas sob os cenários de área do projeto considerados | 174 |
| Tabela 32 – VPL dos cenários de projetos de carbono em função da área e do preço do VCU | 174 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1 – Exemplos de possíveis impactos do aquecimento global devido às mudanças extremas do clima e eventos climáticos, baseados em projeções para o meio do século 21. Não leva em conta mudanças ou desenvolvimento de capacidades adaptativas..... | 32 |
| Quadro 2 – Definição dos reservatórios de carbono no ambiente terrestre | 42 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- AAU – Assigned Amount Units
- AFOLU – Agriculture, Forestry and Other Land Use
- A/R – Afforestation and Reforestation
- ARR – Afforestation, Reforestation and Revegetation
- CER – Certified Emission Reduction
- CO₂-e – Dióxido de carbono equivalente
- COP – Conference of Parties
- DAP – Diâmetro à altura do peito
- DCP – Documento de Concepção de Projeto
- EB – Executive Board
- EC – Exploração Madeireira Convencional
- EOD – Entidade Operacional Designada
- EPA – U.S. Environmental Protection Agency
- ERU – Emission Reduction Units
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations
- GEE – Gases do Efeito Estufa
- GPG LULUCF – Good Practice Guidance for LULUCF
- IC – Implementação Conjunta
- IEA – International Energy Agency
- IFM – Improved Forest Management
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate change
- IPIECA – International Petroleum Industry Environmental Conservation Association
- LULUCF – Land Use, Land-Use Change and Forestry
- MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
- MF-EIR – Manejo Florestal com Exploração de Impacto Reduzido
- PIN – Project Idea Note
- PSA – Pagamento por Serviços Ambientais
- REDD – Reduced Emissions from Deforestation and Degradation
- UNFCCC – United Nations Framework Council on Climate change
- UN-REDD – United Nations Collaborative Programme on Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation in Developing Countries
- UNDP – United Nations Development Programme

VCS – Verified Carbon Standard

VCU – Verified Carbon Unit

WBCSD – World Business Council for Sustainable Development

1 INTRODUÇÃO GERAL

1.1 Introdução

Recentemente foram apresentadas evidências irrefutáveis sobre a relação das atividades humanas e o aumento da temperatura global. Estas evidências foram divulgadas em fevereiro de 2007 no relatório sobre mudanças do clima, "Climate change 2007: The Physical Science Basis, Summary for Policymakers", por ocasião do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC¹, sigla em inglês) (IPCC, 2007b).

Os dados do relatório vieram apenas a confirmar as antigas suspeitas que levaram as Nações Unidas à criarem, em 1992, a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (UNFCCC², sigla em inglês), tendo como meta propor ações efetivas de mitigação das mudanças do clima. A UNFCCC realiza encontros anuais de negociações, conhecidos como Conferências das Partes (COP³, sigla em inglês) (CAMPOS, 2001; NISHI, 2003; ROCHA, 2004; DOMINGOS, 2007).

Durante a COP-3, realizada em Kyoto em 1997, foi estabelecido um acordo que definiu metas de redução de emissões de gases do efeito estufa (GEE) para os países desenvolvidos, além de critérios e diretrizes para o estabelecimento de mecanismos de mercado que facilitassem o alcance de tais metas, conhecido como Protocolo de Kyoto. Basicamente, o Protocolo que prevê a redução média de 5,2% nas emissões de gases do efeito estufa observadas pelos países desenvolvidos em 1990 para os anos de 2008 a 2012, conhecido como o primeiro período de compromisso do protocolo (CAMPOS, 2001; NISHI, 2003; ROCHA, 2004; DOMINGOS, 2007).

Em relação às atividades envolvendo o uso da terra, para o primeiro período de compromisso, apenas as atividades de florestamento/reflorestamento são consideradas elegíveis para projetos de mitigação das mudanças do clima (CAMPOS, 2001; NISHI, 2003; ROCHA, 2004; KRUG, 2005). No entanto, à medida

¹ Intergovernmental Panel on Climate change

² United Nations Framework Convention on Climate change

³ Conference of Parties

que 2012 se aproxima, surgem novas negociações em relação ao futuro do Protocolo de Kyoto ou um novo programa de mitigação das mudanças do clima, envolvendo atividades de desmatamento evitado, manejo florestal sustentável, promoção da conservação e enriquecimento dos estoques de carbono nas florestas, conhecido como REDD+⁴ (LOPEZ, 2009; KOSSY; AMBROSI, 2010; FAO, 2010).

Paralelamente às negociações dos encontros oficiais das Nações Unidas, surgiu, no mercado voluntário de carbono, regimes não vinculados juridicamente, como o *Verified Carbon Standard* (VCS), onde atividades florestais de desmatamento evitado (REDD, sigla em inglês) e melhorias do manejo florestal (IFM⁵, sigla em inglês) se tornaram elegíveis, desde que baseadas nas regras estabelecidas pelos regimes e em metodologias previamente aprovadas (VCS, 2008a, 2011b; HAMILTON et al., 2009; LOPEZ, 2009; MERGER, 2010).

Diversos autores apontam que atividades IFM, em especial a conversão da exploração madeireira convencional (EC) para o manejo florestal com exploração de impacto reduzido (MF-EIR), é uma prática comprovadamente eficaz para a conservação da biomassa e, conseqüentemente, dos estoques de carbono nos ecossistemas florestais, além de apresentar ganhos significativos em relação à sustentabilidade da atividade madeireira pelo reflexo positivo na regeneração da floresta explorada (JONHS; BARRETO; UHL, 1996; BARRETO; UHL; JOHNS, 1998; HOLMES et al., 2002; DYKSTRA, 2002; VIDAL; VIANA; BATISTA, 2002; BOLTZ; HOLMES; CARTER, 2003; VIDAL, 2004; KELLER et al., 2004; VALLE et al., 2007; PUTZ et al., 2008, 2011; MAZZEI et al., 2010; MACPHEARSON et al., 2010; 2011; MEDJIBE et al., 2011).

Segundo Putz et al. (2008), o emprego de melhorias no manejo florestal de florestas tropicais poderia representar uma redução de cerca de 10% das emissões de GEE oriundas do desmatamento anual de florestas, cerca de 0,16 G t C ano⁻¹.

Mazzei et al. (2010), estudando a reposição da biomassa acima do solo em uma área explorada através do MF-EIR em Paragominas, entre 2004 e 2008, concluiu que, mesmo com o emprego de técnicas conservacionistas como as da EIR, para que 100% da biomassa acima do solo seja reposta em um período de rotação de 30 anos, faz-se necessário que a intensidade da colheita, de 6 árvores ha⁻¹, seja reduzida entre 40 - 50%. Tal redução tem impacto direto sobre as receitas

⁴ Reduced Emissions from Deforestation and Degradation

⁵ Improved Forest Management

da atividade madeireira, daí a importância de pagamentos por serviços ambientais (PSA), através do mercado de carbono, como forma de compensação econômica em prol da conservação das florestas exploradas, sustentabilidade da atividade madeireira e mitigação das mudanças do clima.

O objetivo deste trabalho é preparar uma metodologia para o desenvolvimento de projetos florestais de crédito de carbono no âmbito do mercado voluntário, de acordo com as regras do programa VCS, e/ou de um futuro programa independente ou substituto do Protocolo de Kyoto, desenvolvido pelas Nações Unidas, como o REDD+, envolvendo a conversão da EC para o MF-EIR. Esse tipo de atividade de projeto visa à manutenção da sustentabilidade das florestas manejadas, através da compensação financeira proporcionada por PSA, baseada nas opções atuais e possíveis opções futuras de atividades de projetos de carbono baseadas no manejo florestal.

1.2 Revisão Bibliográfica

1.2.1 Aquecimento global

O efeito estufa é, essencialmente, resultado da concentração de vapor d'água, dióxido de carbono (CO_2), e outros gases atmosféricos que absorvem a radiação terrestre refletida pela superfície do planeta, classificados como Gases do Efeito Estufa (GEE) (UNFCCC, 1998; IPCC, 2001). As alterações da concentração desses gases na atmosfera podem afetar o balanço energético entre a atmosfera, o espaço, os continentes e os oceanos (EPA, 2009). Segundo o IPCC (1996), tal alteração na concentração dos GEE, resultado de atividades antrópicas, teria como efeito a alteração do clima global.

Entre os GEE que ocorrem naturalmente, incluem-se o vapor d'água, CO_2 , metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) e o Ozônio (O_3). Diversas classes de substâncias halogênicas que contém flúor, cloro e bromo também são consideradas GEE, no entanto, são, em geral, produtos de atividades industriais e atuam na degradação da camada de ozônio. Entre elas estão os clorofluorcarbonos (CFCs) e hidroclorofluorcarbonos (HCFCs) (halocarbonetos que contém cloro), e bromofluorcarbonetos, (halocarbonetos que contém bromo), além de algumas substâncias halogênicas que contém flúor, como os hidrofluorcarbonetos (HFC),

perfluorocarbonetos (PFCs) e hexafluoreto de enxofre (SF₆), que embora não degradem a camada de ozônio, são potentes GEE (EPA, 2009).

Embora o CO₂, CH₄ e o N₂O sejam continuamente emitidos e removidos da atmosfera por processos naturais, atividades antrópicas podem causar o aumento ou a diminuição de suas concentrações, podendo, juntamente com os demais GEE, resultar em uma resposta positiva ou negativa aos ecossistemas (EPA, 2009).

Em 2007, uma série de quatro relatórios elaborados pelo IPCC, intitulados "Sumário para Tomadores de Decisão"⁶, apresentaram evidências irrefutáveis sobre a relação entre as atividades antrópicas e a potencialização do efeito estufa.

A Figura 1, apresentada pelo IPCC (2007b), ilustra as mudanças observadas nas concentrações de CO₂, CH₄ e N₂O, expressas em termos do forçamento radiativo⁷ (eixo direito dos gráficos), utilizado para comparar a forma como os fatores humanos e naturais provocam o aquecimento ou o esfriamento do clima global.

⁶ Summary for Policy Makers, em inglês

⁷ Medida da influência de um fator na alteração do equilíbrio da energia que entra e sai do sistema Terra-atmosfera. É um índice da importância do fator como possível ator na mudança do clima. O forçamento positivo tende a aquecer a superfície, enquanto o forçamento negativo tende a esfriá-la. Os valores do forçamento radiativo são para 2005, relativos às condições pré-industriais definidas em 1750, e são expressos em watts por metro quadrado (IPCC, 2007b)

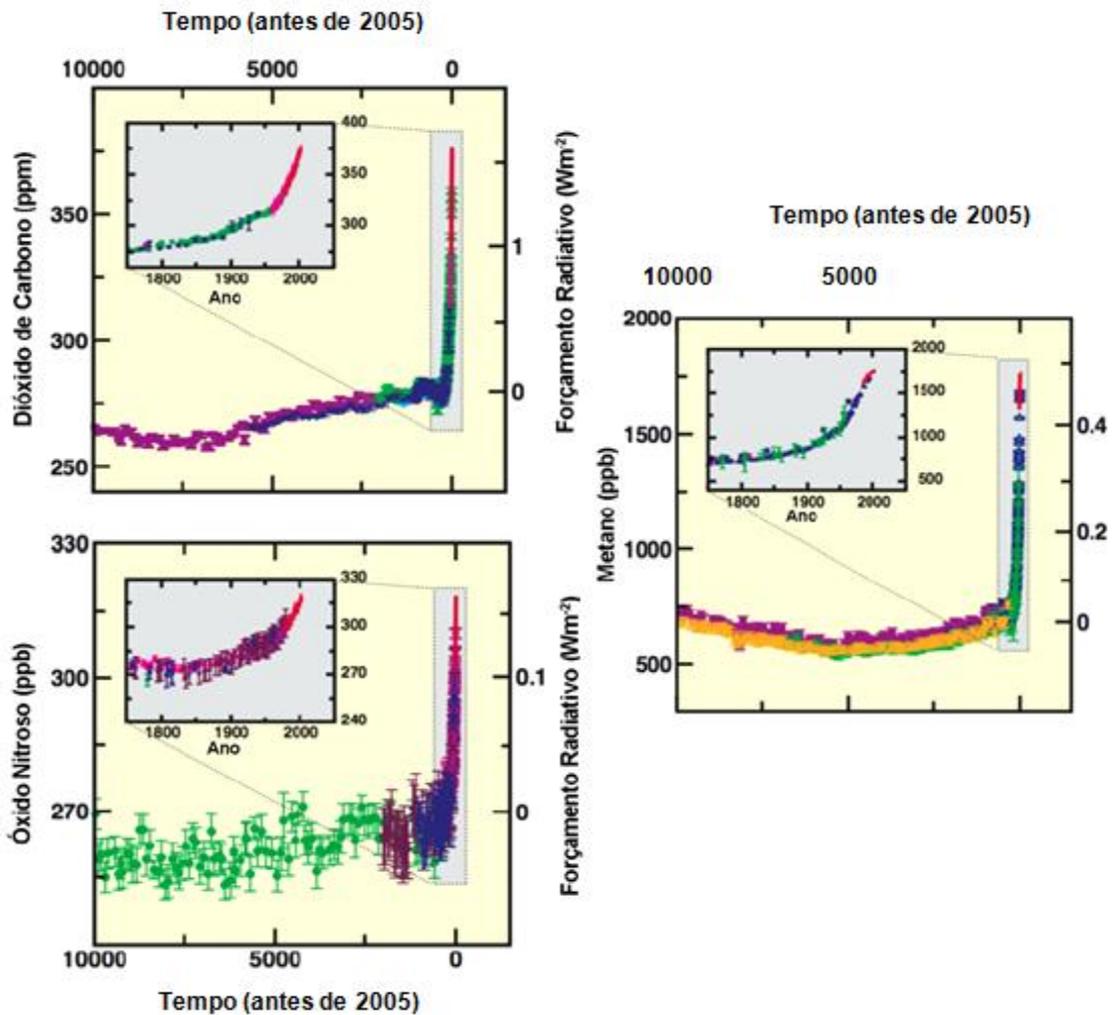


Figura 1 – Variações nas concentrações atmosféricas de CO₂, CH₄ e N₂O ao longo dos últimos 10.000 anos (gráficos grandes) e desde 1750 (gráficos inseridos)

Fonte: IPCC (2007b)

Segundo o IPCC (2007b), as concentrações médias de CO₂ na atmosfera passaram de 280 ppm³ no período pré-industrial para 379 ppm³ em 2005, resultado principalmente do uso de combustíveis fósseis. Em relação ao CH₄, a concentração atmosférica global do gás aumentou de um valor pré-industrial de cerca de 715 ppb para 1.732 ppb no início da década de 90, sendo de 1.774 ppb em 2005. Finalmente, a concentração atmosférica global do N₂O aumentou de um valor pré-industrial de cerca de 270 ppb para 319 ppb em 2005. Mais de um terço de todas as emissões de óxido nitroso é antrópica, devendo-se principalmente à agricultura (Tabela 1).

Tabela 1 – Aumento da concentração de GEE: período pré-industrial – 2005

| GEE | Concentração no período pré-industrial | Concentração em 2005 | Principais atividades antrópicas relacionadas ao aumento das concentrações dos GEE |
|------------------|---|-----------------------------|---|
| CO ₂ | 280 ppm ^{3 (a)} | 379 ppm ^{3 (a)} | Uso de combustíveis fósseis |
| CH ₄ | 715 ppb ^(b) | 1.732 ppb ^(b) | Uso de combustíveis fósseis e Agricultura |
| N ₂ O | 270 ppb ^(b) | 319 ppb ^(b) | Agricultura |

^(a) Partes por milhão

^(b) Partes por bilhão

Fonte: Adaptado do IPCC (2007b)

O terceiro relatório da série divulgada pelo IPCC em 2007, relaciona a ocorrência de possíveis eventos climáticos extremos e suas respectivas consequências para o século 21, resultado do processo de aquecimento global (IPCC, 2007a). Tais informações estão sumarizadas no Quadro 1.

| Fenômeno e tendência | Possibilidade de ocorrência | Exemplos dos principais impactos projetados por setor | | | |
|--|-----------------------------|--|--|--|---|
| | | Agricultura, floresta e ecossistemas | Recursos hídricos | Saúde humana | Indústria, habitação e sociedade |
| Dias mais quentes e noites menos frias e dias e noites mais quentes mais freqüentes na maior parte das regiões | Certeza virtual | Aumento da produtividade em ambientes mais frios; diminuição da produtividade em ambientes mais quentes; aumento do ataque de pragas | Impacto sobre as fontes de água decorrente do degelo; Impacto sobre alguns reservatórios de água | Redução da mortalidade humana pela diminuição da exposição ao frio | Redução da demanda energética para aquecimento; aumento da demanda por resfriadores; diminuição da qualidade do ar nas cidades; redução da perturbação nos transportes decorrentes de gelo e neve; impacto sobre o turismo de inverno |
| Períodos de calor/ondas de calor. Freqüência aumenta na maioria das regiões | Muito provável | Diminuição da produtividade em ambientes mais quentes devido ao estresse pelo calor; aumento da ameaça de incêndios naturais | Aumento da demanda por água; problemas de qualidade de água, ex.: proliferação de algas | Aumento do risco de mortalidade ligada ao calor, especialmente para os idosos, doentes crônicos, recém-nascidos e isolados sociais | Redução da qualidade de vida para pessoas em áreas quentes sem moradias apropriadas; impactos nos idosos, recém-nascidos e pobres |
| Eventos de precipitação intensa. Freqüência aumenta na maioria das regiões | Muito provável | Danos às plantações agrícolas; erosão do solo; incapacidade de cultivar áreas devido à perda de solo | Efeitos adversos na qualidade da água de superfície e subterrânea; contaminação de reservatórios de água; possível mitigação da escassez de água | Aumento do risco de mortes, doenças, infecções, doenças respiratórias e de pele | Destruição de moradias, comércio, transporte e sociedades devido às enchentes; pressões sobre as infraestruturas rurais e urbanas; perda de bens |

| Fenômeno e tendência | Possibilidade de ocorrência | Exemplos dos principais impactos projetados por setor | | | |
|---|-----------------------------|--|---|--|---|
| | | Agricultura, floresta e ecossistemas | Recursos hídricos | Saúde humana | Indústria, habitação e sociedade |
| Aumento de áreas afetadas pela seca | Provável | Degradação de áreas; perda de produtividade e danos/perda de produção agrícola | Estresses hídricos generalizados | Aumento do risco de escassez de água e comida, do risco de desnutrição e de doenças de água e alimentares | Escassez de água nas moradias, indústrias e sociedades; redução da geração de energia hidroelétrica; potencial migração de populações |
| Maior ocorrência de ciclones tropicais intensos | Provável | Dano às plantações; queda de árvores; dano aos recifes de corais | Interrupção do sistema de abastecimento de água | Aumento do risco de mortes, ferimentos, doenças de água e alimentares; desordem de estresse pós-traumático | Danos causados por inundações e ventos fortes; cancelamento de seguros privados para áreas vulneráveis pelas companhias de seguro; potencial de migração de populações; perda de bens |
| Aumento da incidência de níveis altos do mar (tsunamis excluídos) | Provável | Salinização de águas para irrigação, estuários e sistemas de água doce | Diminuição de água doce disponível devido à entrada de água salgada | Aumento do risco de mortes e ferimentos por afogamentos em inundações; migrações relacionadas a efeitos de saúde | Custos de proteção das áreas costeiras contra custos de realocação de usos de terra; potencial deslocamento de populações e infraestruturas; idem aos ciclones tropicais acima |

Quadro 1 – Exemplos de possíveis impactos do aquecimento global devido às mudanças extremas do clima e eventos climáticos, baseados em projeções para o meio do século 21. Não leva em conta mudanças ou desenvolvimento de capacidades adaptativas

Fonte: Adaptado de IPCC (2007a)

1.2.1.1 Emissões mundiais de GEE

Em estudo publicado pela *Ecofys* (HAGEMANN et al., 2009), a pedido do Departamento de Energia e Mudanças do Clima do Reino Unido, aponta-se a evolução das emissões de GEE, de 1990 a 2007, excluindo-se as originárias de mudanças do uso da terra. Os resultados são apresentados nas Tabelas 2, 3 e 4, sendo referentes às emissões mundiais totais, às emissões dos países Anexo I e às emissões dos países Não-Anexo I, respectivamente.

Tabela 2 – Emissões mundiais de GEE

| Origem | Emissões em 1990 (Mt CO ₂ -e) | Emissões em 2007 (Mt CO ₂ -e) | Participação nas emissões totais em 2007 | Crescimento das emissões (%) 1990 – 2007 |
|--------------------|---|---|--|--|
| Resíduos | 1.038 | 1.286 | 3% | 24% |
| Agricultura | 4.654 | 4.853 | 12% | 4% |
| Famílias, serviços | 4.239 | 3.962 | 10% | -7% |
| Transportes | 4.253 | 5.869 | 15% | 38% |
| Indústrias | 6.680 | 9.174 | 23% | 37% |
| Eletricidade | 9.678 | 14.344 | 36% | 48% |
| TOTAL | 30.541 | 39.489 | 100% | 29,3% |

Fonte: Hagemann et al. (2009)

Tabela 3 – Emissões de GEE: Países do Anexo I

| Origem | Emissões em 1990 (Mt CO ₂ -e) | Emissões em 2007 (Mt CO ₂ -e) | Participação nas emissões totais em 2007 | Crescimento das emissões (%) 1990 – 2007 |
|--------------------|---|---|--|--|
| Resíduos | 520 | 450 | 3% | -13% |
| Agricultura | 1.614 | 1.278 | 7% | -21% |
| Famílias, serviços | 2.530 | 1.963 | 11% | -22% |
| Transportes | 3.168 | 3.711 | 21% | 17% |
| Indústrias | 3.973 | 3.510 | 20% | -12% |
| Eletricidade | 6.699 | 6.852 | 39% | 2% |
| TOTAL | 18.505 | 17.764 | 100% | -4% |

Fonte: Hagemann et al. (2009)

Tabela 4 – Emissões de GEE: Países do Não-Anexo I

| Origem | Emissões em 1990 (Mt CO ₂ -e) | Emissões em 2007 (Mt CO ₂ -e) | Participação nas emissões totais em 2007 | Crescimento das emissões (%) 1990 – 2007 |
|--------------------|---|---|--|---|
| Resíduos | 488 | 764 | 4% | 57% |
| Agricultura | 2.849 | 3.378 | 17% | 19% |
| Famílias, serviços | 1.573 | 1.826 | 9% | 16% |
| Transportes | 955 | 1.958 | 10% | 105% |
| Indústrias | 2.475 | 5.293 | 26% | 114% |
| Eletricidade | 2.630 | 6.892 | 34% | 162% |
| TOTAL | 10.970 | 20.110 | 100% | 83,3% |

Fonte: Hagemann et al. (2009)

1.2.1.2 Emissões brasileiras de GEE

Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA⁸, sigla em inglês) (2009), o Brasil é o quinto maior emissor de GEE do mundo, sendo 81% de suas emissões originárias da agricultura, uso da terra e atividades florestais, devido principalmente à expansão da fronteira agrícola na região amazônica.

A mesma fonte aponta que em relação às emissões de CO₂ oriundas da queima de combustíveis fósseis, o Brasil é responsável apenas por 1,2% das emissões globais, isso porque a matriz energética brasileira é considerada uma das mais limpas do planeta, sendo 45% dela de origem renovável.

Segundo estudo publicado pela *Ecofys* (HAGEMANN et al., 2009), a evolução das emissões brasileiras de GEE, de 1990 a 2007, excluindo-se as originárias de mudanças do uso da terra, apresentam tendência de crescimento (Tabela 5).

⁸ International Energy Agency

Tabela 5 – Emissões brasileiras de GEE

| Origem | Emissões em 1990 (Mt CO ₂ -e) | Emissões em 2007 (Mt CO ₂ -e) | Participação nas emissões totais em 2007 | Crescimento das emissões (%) 1990 – 2007 |
|--------------------|---|---|--|--|
| Resíduos | 19 | 24 | 3% | 24% |
| Agricultura | 339 | 481 | 52% | 42% |
| Famílias, serviços | 34 | 49 | 5% | 42% |
| Transportes | 83 | 150 | 16% | 82% |
| Indústrias | 85 | 153 | 17% | 80% |
| Eletricidade | 35 | 60 | 7% | 74% |
| TOTAL | 595 | 917 | 100% | 54,1% |

Fonte: Hagemann et al. (2009)

O Ministério da Ciência e Tecnologia (BRASIL, 2004) quantificou as emissões líquidas de CO₂ causadas por mudanças do uso da terra em 722 Tg CO₂ para cada ano do período 1988 – 1994. O bioma Amazônia foi responsável pela emissão de 429 Tg CO₂ ano⁻¹, correspondendo a 59% das emissões totais; o bioma cerrado por 189 Tg CO₂ ano⁻¹; o bioma Mata Atlântica por 41 Tg CO₂ ano⁻¹; o bioma Caatinga por 36 Tg CO₂ ano⁻¹ e o bioma Pampa por 27 Tg CO₂ ano⁻¹.

1.2.1.3 Biomassa e carbono

O sequestro do carbono atmosférico por atividades silviculturais é baseado em duas premissas: (1) o dióxido de carbono é um gás atmosférico de circulação global e, conseqüentemente, quaisquer esforços de remoção de GEE da atmosfera serão igualmente efetivos em qualquer parte do mundo, seja realizado no vizinho da fonte emissora ou do outro lado do planeta; (2) as plantas absorvem o dióxido de carbono da atmosfera através do processo de fotossíntese, transformando-o em açúcar e outros compostos orgânicos usados no crescimento e atividades metabólicas. Plantas de longa-vida acumulam carbono na madeira e outros tecidos até sua morte e decomposição, momento em que o carbono estocado é liberado para a atmosfera como dióxido de carbono, monóxido de carbono ou metano ou é incorporado no solo como matéria orgânica (MOURA-COSTA, 1996).

1.2.1.4 Florestas e o aquecimento global

Os principais reservatórios de carbono no mundo são as reservas de combustíveis fósseis, a atmosfera, os oceanos sedimentares e os ecossistemas

terrestres (THOMPSON; MACKEY; MOSSELER, 2009). Segundo o IPCC (2001), os ecossistemas terrestres estocam atualmente cerca de 2.400 Gt C, apresentando uma troca anual bruta com a atmosfera de cerca de 200 Gt C (Figura 2).

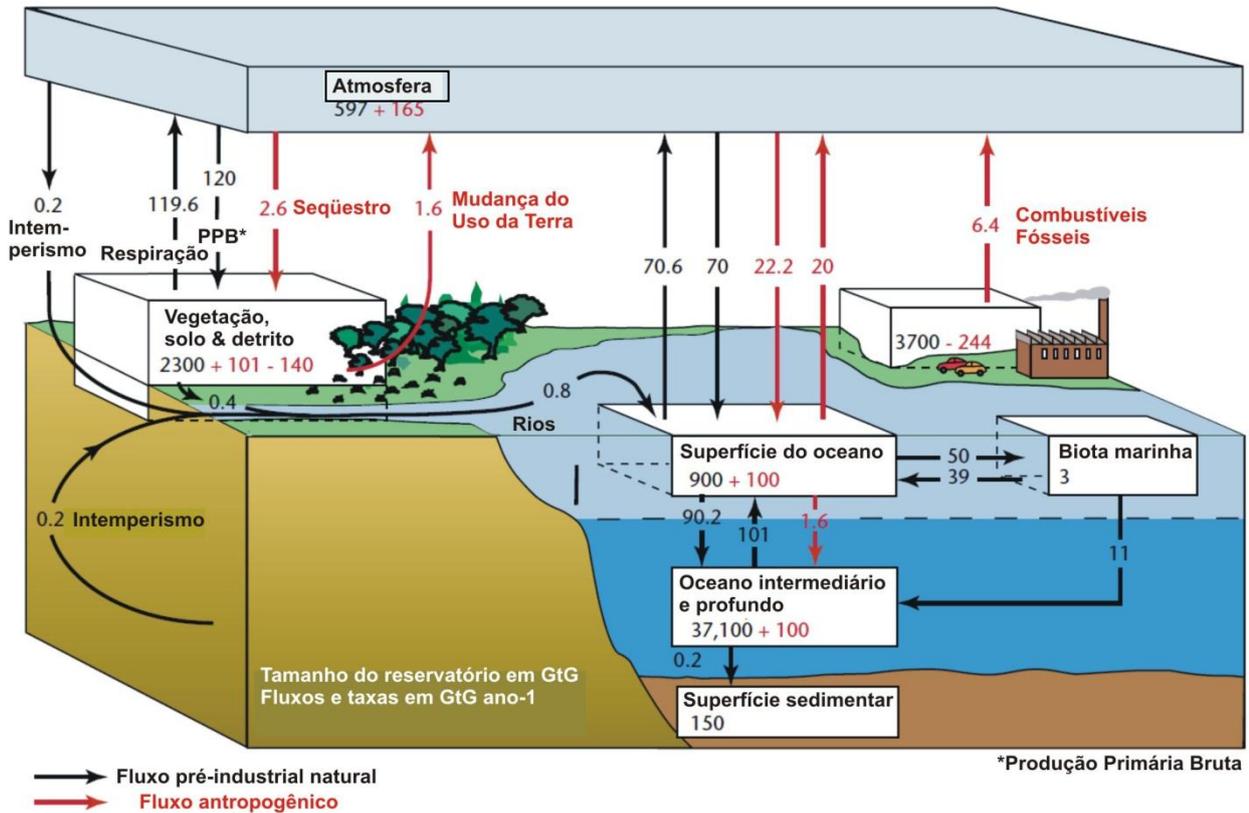


Figura 2 – Ciclo global do carbono para os anos 90 mostrando os fluxos anuais, em gigatoneladas de carbono por ano (Gt C ano⁻¹), de algumas das fontes mais importantes

Fonte: Adaptado do relatório da WBCSD (2009)

Cerca de 50% dos estoques de carbono terrestres residem em ecossistemas florestais, representados pela biomassa viva e biomassa morta, acima e abaixo do solo, e no solo florestal (FAO, 2011).

Durante seu crescimento, as plantas fixam o carbono atmosférico em sua biomassa através do processo de fotossíntese. A fotossíntese consiste na conversão do CO₂, juntamente com a água (H₂O), em carboidratos, utilizando a luz solar como fonte de energia. Durante o processo a molécula H₂O é dividida em átomos de hidrogênio e oxigênio. O oxigênio é liberado para a atmosfera, como subproduto do

processo, enquanto que o hidrogênio, oriundo da água, converte o carbono inorgânico contido no CO₂ em biomassa, caracterizando a produção primária (DIAS-FILHO, 2006).

Ravindranath e Ostwald (2008) estimam que metade das áreas florestais do planeta tenham sido convertidas para outros tipos de uso da terra, o que representaria um estoque atual de carbono 40% inferior ao estoque natural de carbono dos ecossistemas terrestres. Para Thompson, Mackey e Mosseler (2009), cerca de 70% do CO₂ adicional na atmosfera é resultado da queima de combustíveis fósseis, sendo 30% resultado das mudanças do uso da terra

Dados apresentados pela FAO⁹ (2005), apontam que o desmatamento global anual representaria 25% das emissões de GEE causadas pelo homem. Informações mais recentes divulgadas pelo IPCC (2007b) reduzem essa porcentagem para 17%. Ainda, em dezembro de 2009, um estudo realizado por Van der Werf et al. (2009), sugere que a porcentagem mais correta seria de aproximadamente 12% (variando entre 6% e 17%).

O tempo de vida do CO₂ na atmosfera é elevado, sendo de cerca de 300 anos para 75% do gás, com o remanescente de 25% podendo interagir no sistema climático por milhares de anos (ARCHER et al., 2009). Desse modo, destaca-se o papel das trocas do carbono entre a atmosfera e os ecossistemas aquáticos e terrestres, que atuam como reservatórios de carbono, na diminuição das concentrações atmosféricas de CO₂ (THOMPSON; MACKKEY; MOSELER, 2009).

1.2.1.5 Sequestro de carbono pelos ecossistemas florestais

Em teoria, o sequestro do carbono atmosférico pode ser quantificado estimando-se o armazenamento do mesmo na biomassa e no solo da floresta (BALBINOT et al., 2003).

Um estudo desenvolvido por Woodbury, Smith e Heath (2007) estimou um sequestro de 162 Tg C ano⁻¹ entre os anos 1999 – 2005 (incluindo florestas e produtos madeireiros) nos Estados Unidos. O modelo de simulação da Agência Espacial Americana (NASA¹⁰, sigla em inglês), Carnegie Ames Stanford Approach (CASA), baseado em observações de satélite da cobertura florestal norte americana,

⁹ Food and Agriculture Organization of the United Nations

¹⁰ National Aeronautics and Space Administration

sugeriu uma média anual de sequestro de carbono entre 200 – 300 Tg C ano⁻¹ para os anos entre 1982 e 1998 (POTTER et al., 2003).

Goodale et al. (2002) reuniram informações sobre o carbono no setor florestal do Canadá, Estados Unidos, Europa, Rússia e China, além de dados adicionais, e concluíram que as florestas do hemisfério norte sequestram entre 0,6 – 0,7 Pg C ano⁻¹, sendo 0,21 Pg C ano⁻¹ em sua biomassa viva; 0,13 Pg C ano⁻¹ na serapilheira e solo florestal; 0,15 Pg C ano⁻¹ na matéria morta e 0,08 em produtos florestais.

Fearnside e Guimarães (1996) calcularam um sequestro de 0,7 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ para florestas secundárias em regeneração sob pastagens abandonadas, no estado do Pará, atingindo o equilíbrio natural em aproximadamente 100 anos. Feldpausch et al. (2004), também estudando florestas secundárias em regeneração sob pastagens abandonadas, na bacia Amazônica, encontrou um o acúmulo de biomassa da ordem de 11 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, para florestas entre 12 – 14 anos, estocando uma média de 128,1 Mg ha⁻¹ na biomassa seca, equivalente a 25 – 50% da biomassa de florestas primárias da região.

A Tabela 6 a seguir apresenta os incrementos nos estoques de carbono acima do solo em florestas naturais, baseada na Tabela 3A.1.5, do Guia de Boas Práticas – Uso de Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas (GPG LULUCF¹¹, sigla em inglês) do IPCC (2003) e na fração de carbono padrão para a biomassa seca recomendada pelo Guia para Inventários Nacionais de Gases do Efeito Estufa do IPCC¹² (2006) de 0,47.

¹¹ Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry

¹² IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

Tabela 6 – Incremento anual de carbono em florestas naturais

| Florestas Tropicais (Mg C ha⁻¹ ano⁻¹) | | | | | | | |
|--|---------------------|------------------------------|---|---|-----------------------------|--|---|
| Classe | Idade (anos) | Úmida P > 2000 | Úmida com estação seca curta 2000 > P > 1000 | Úmida com estação seca longa 2000 > P > 1000 | Seca P < 1000 | Montana úmida P > 1000 | Montana seca P < 1000 |
| África | ≤ 20 | 4,7 | 2,5 | 1,1 | 0,6 | 2,4 | 0,9 |
| | > 20 | 1,4 | 0,6 | 0,8 | 0,4 | 0,5 | 0,7 |
| Ásia e Oceania: Continental | ≤ 20 | 3,3 | 4,2 | 2,8 | 2,4 | 2,4 | 0,5 |
| | > 20 | 1 | 0,9 | 0,7 | 0,6 | 0,5 | 0,2 |
| Ásia e Oceania: Insular | ≤ 20 | 6,1 | 5,2 | 3,3 | 0,9 | 5,6 | 1,4 |
| | > 20 | 1,6 | 1,4 | 0,9 | 0,5 | 1,4 | 0,5 |
| América | ≤ 20 | 4,7 | 3,3 | 1,9 | 1,9 | 2,4 | 0,8 |
| | > 20 | 0,9 | 0,9 | 0,5 | 0,5 | 0,7 | 0,2 |

| Florestas Temperadas (Mg C ha⁻¹ ano⁻¹) | | |
|---|------------------|-----------------|
| Idade (anos) | Coníferas | Folhosas |
| ≤ 20 | 1,4 | 1,9 |
| > 20 | | |

| Florestas Boreais (Mg C ha⁻¹ ano⁻¹) | | | | | |
|--|---------------------|-------------------------------------|------------------|---------------|-----------------|
| Classe | Idade (anos) | Mista coníferas-folhosas | Coníferas | Tundra | Folhosas |
| Eurásia | ≤ 20 | 0,5 | 0,7 | 0,2 | 0,7 |
| | > 20 | 0,7 | 1,2 | | |
| América | ≤ 20 | 0,5 | 0,3 | 0,2 | 0,7 |
| | > 20 | | 0,7 | | |

Fonte: Adaptado do IPCC (2003)

1.2.1.6 Estoques carbono e biomassa em ecossistemas florestais

Os ecossistemas florestais cobrem mais de $4,1 \times 10^9$ hectares da superfície do planeta, com aproximadamente 1.146 Pg C em seu solo e vegetação, sendo 37% distribuídos em florestas de baixas altitudes, 14% em florestas médias latitudes e 49% em florestas de alta altitude (DIXON et al., 2004).

Segundo Winjum e Schroeder (1997), as plantações florestais possuem uma área total global de aproximadamente 130×10^6 hectares com taxas estabelecimento de $10,5 \times 10^6$ hectares por ano, representando um estoque médio global de 11,8 Pg C, com um incremento anual de $0,178 \text{ Pg C ano}^{-2}$, equivalente a um estoque de aproximadamente 91 t C ha^{-1} .

Houghton et al. (2001) apontam, baseados em diversos trabalhos de amostragem realizados, o estoque total de carbono para a Amazônia brasileira variando entre 39 – 93 Pg C. Nabuurs et al. (1997) e Goodale et al. (2002), apud Mäkipää, Lehtonen e Peltoniemi (2008), estimaram que o estoque de carbono da vegetação nas florestas europeias (excluindo-se a Rússia), é de 8.000 Tg C, com uma variação anual entre 50 – 100 Tg C ano⁻¹. Guo et al. (2010) quantificaram o estoque de carbono nas florestas chinesas variando entre 4 – 7,7 Pg C (pior e melhor cenário, respectivamente) e Woodbury, Smith e Heath (2007) estimaram um estoque de 43 – 135 t C ha⁻¹ para as florestas nos Estados Unidos.

Saatchi et al. (2007) ressaltam que a quantidade e a distribuição espacial da biomassa na bacia amazônica apresenta um elevado grau de incerteza em relação ao fluxo do carbono lançado à atmosfera decorrente da mudança do uso da terra. Utilizando uma metodologia baseada em dados espaciais, Saatchi et al. (2007) encontraram valores para a biomassa viva acima do solo (AGLB¹³, sigla em inglês) para a principal região central da Amazônia e em suas regiões leste e norte, incluindo as Guianas, superiores a 300 Mg ha^{-1} (com exceção das áreas exploradas e planícies abertas). Para a Amazônia ocidental, desde as regiões baixas do Peru, Equador e Colômbia, até as elevações andinas, foi encontrada uma faixa de 150 – 300 Mg ha^{-1} para os valores da AGLB. As áreas de maior transição e florestas estacionais ao sul e noroeste apresentaram valores variando entre 100 – 200 Mg ha^{-1} . O valor total predito para o carbono estocado na bacia Amazônia foi de cerca de 86 Pg C, incluindo a biomassa morta e abaixo do solo.

A Tabela 7 apresenta os estoques de carbono em florestas naturais, baseada na Tabela 3A.1.2, de biomassa seca acima do solo para florestas naturais, do GPG LULUCF (IPCC, 2003) e na fração de carbono padrão para a biomassa seca recomendada pelo Guia para Inventários Nacionais de Gases do Efeito Estufa do IPCC (2006) de 0,47.

¹³ Aboveground live biomass

Tabela 7 – Estoques de carbono em florestas naturais

| Florestas Tropicais (Mg C ha ⁻¹) | | | | | | | |
|--|-------|----------|--|--|----------|-------------------|------------------|
| Classe | | Úmida | Úmida com | Úmida com | Seca | Montana | Montana |
| | | P > 2000 | estação seca curta 2000 > P > 1000 | estação seca longa 2000 > P > 1000 | P < 1000 | úmida P > 1000 | seca P < 1000 |
| África | Média | 146 | 122 | 58 | 34 | 90 | 19 |
| | Mín. | 61 | 75 | 56 | 7 | | |
| | Máx. | 241 | 203 | 61 | 92 | | |
| Ásia e Oceania: Continental | Média | 129 | 85 | 60 | 28 | 104 | 23 |
| | Mín. | 58 | 5 | 47 | | 38 | |
| | Máx. | 321 | 264 | 73 | | 146 | |
| Ásia e Oceania: Insular | Média | 163 | 136 | 75 | 33 | 170 | 23 |
| | Mín. | 132 | | | | 155 | |
| | Máx. | 244 | | | | 237 | |
| América | Média | 163 | 102 | 100 | 37 | 110 | 28 |
| | Mín. | 55 | 100 | 95 | 21 | 23 | |
| | Máx. | 404 | 131 | 191 | 42 | 164 | |

| Florestas Temperadas (Mg C ha ⁻¹) | | | | |
|---|-------|-----------|----------|-------|
| Classe | | Coníferas | Folhosas | Mista |
| Ásia e Oceania: < 20 anos | Média | 47 | 8 | 19 |
| | Mín. | 8 | | |
| | Máx. | 86 | | |
| Ásia e Oceania: > 20 anos | Média | 63 | 57 | 60 |
| | Mín. | 9 | 3 | 9 |
| | Máx. | 282 | 150 | 155 |

| Florestas Boreais (Mg C ha ⁻¹) | | | | |
|--|-------|-------|-----------|--------|
| Classe | | Mista | Coníferas | Tundra |
| Eurásia: < 20 anos | Média | 6 | 5 | 2 |
| Eurásia: > 20 anos | Média | 23 | 28 | 9 |
| | Mín. | | 9 | 38 |
| | Máx. | | 61 | |
| América: < 20 anos | Média | 7 | 3 | 1 |
| América: > 20 anos | Média | 19 | 22 | 7 |

Nota: P = Precipitação anual em mm ano⁻¹

Fonte: Adaptado do IPCC (2003)

O GLG LULUCF (IPCC, 2003) classifica o carbono estocado no ambiente terrestre em distintos reservatórios, conforme apresentados a seguir (Quadro 2).

| Reservatório | | Descrição |
|------------------------|---------------------------|--|
| Biomassa viva | Biomassa acima do solo | Toda biomassa viva acima do solo, incluindo fustes, tocos, galhos, cascas, semente e folhas. |
| | Biomassa abaixo do solo | Toda a biomassa das raízes vivas. Raízes finas inferiores a 2 mm (sugestão) são geralmente excluídas porque frequentemente não podem ser distinguidas empiricamente da matéria orgânica do solo ou da serapilheira. |
| Matéria orgânica morta | Madeira morta | Inclui toda a matéria não-viva da biomassa lenhosa não contida na serapilheira, em pé ou caída, ou no solo. A madeira morta inclui madeira deitada na superfície, raízes mortas e tocos maiores que 10 cm de diâmetro ou qualquer outro diâmetro estipulado pelo país. |
| Matéria orgânica morta | Serapilheira | Inclui toda a biomassa não-viva com diâmetro inferior ao diâmetro mínimo estipulado pelo país (por exemplo: 10 cm), caída, em diversos estados de decomposição acima do solo mineral ou orgânico, incluindo as camadas da serapilheira, fúmica e húmica. As raízes vivas inferiores ao diâmetro mínimo estipulado pelo país para a biomassa abaixo do solo (que não podem ser distinguidas empiricamente) são inclusas nesse reservatório. |
| Solo | Material orgânico do solo | Inclui o carbono orgânico e mineral e os solos orgânicos (incluindo turfas) até uma profundidade específica escolhida pelo país e utilizada consistentemente ao longo dos anos. As raízes vivas inferiores ao diâmetro mínimo estipulado pelo país para a biomassa abaixo do solo (que não podem ser distinguidas empiricamente) são inclusas nesse reservatório. |

Quadro 2 – Definição dos reservatórios de carbono no ambiente terrestre

Fonte: Adaptado da Tabela 3.1.2 do GPG LULUCF (IPCC, 2003)

1.2.1.7 Opções florestais de mitigação das mudanças do clima

Atividades florestais de fixação de carbono baseiam-se em acumulação e estocagem. Portanto, qualquer atividade ou prática de manejo que altere a biomassa em uma área tem um efeito em sua capacidade de estoque ou sequestro de carbono. Basicamente, práticas de manejo florestal podem ser utilizadas para reduzir as quantidades de GEE na atmosfera de duas formas: (1) aumentando as taxas de acumulação (sequestro) de carbono da atmosfera e (2) prevenindo ou reduzindo as taxas de liberação do carbono já fixado nas florestas (MOURA-COSTA, 1996).

Uma abordagem óbvia de se promover a fixação de carbono é a de se plantar árvores. A eficiência e viabilidade do sequestro de carbono na silvicultura, no entanto, varia enormemente, em função da qualidade do sítio, das espécies arbóreas e das práticas de manejo. A opção mais direta de prevenção ou redução de emissões do carbono fixado na vegetação é a preservação das florestas (MOURA-COSTA, 1996). Outra opção para se reduzir as emissões do carbono é diminuir o dano às árvores residuais durante a exploração seletiva, retendo carbono na biomassa florestal (PINARD; PUTZ, 1996).

A Tabela 8 apresenta as opções florestais de mitigação das mudanças do clima.

Tabela 8 – Valores estimados para o carbono sequestrado ou conservado ao longo do tempo para diferentes atividades florestais na região tropical

| Abordagens de sequestro de C | Volume de carbono (Mg C ha ⁻¹) | Intervalo temporal (anos) | Referências |
|---|--|---------------------------|---|
| Plantações de crescimento rápido | 100 – 200 | 10 – 20 | Freedman et al. (1992) Dixon et al. (1991) |
| Plantio de enriquecimento com madeiras de lei | 150 – 280 | 50 – 70 | Moura-Costa et al. (1994a, 1994b) |
| Agroflorestas | 90 – 150 | 20 | Faeth et al. (1994) |
| Tratamentos silviculturais | 90 – 150 | 30 | Hoen e Solberg (1994) |
| Melhoramento do solo | 1 – 2 | 1 | Dixon et al. (1994a) |
| Abordagens de conservação de C | Volume de carbono (Mg C ha ⁻¹) | Intervalo temporal (anos) | Referências |
| Conservação de florestas tropicais | 300 – 400 | - | Faeth et al. (1994) IPCC (1992) |
| EIR com tratores | 35 ou 80 | 2 ou 10, respectivamente | Putz e Pinard (1994) |
| EIR com helicópteros | 80 ou 150 | 2 ou 10, respectivamente | Putz e Pinard (1994) |
| Troca de combustível (produção de lenha) | 100 – 200 | 10 | IPCC (1992) |
| Proteção contra fogo | 250 – 350 | - | IPCC (1992) |
| Proteção do solo | 20 – 30 | 1 | IPCC (1992) Faeth et al. (1994) |

Fonte: Moura-Costa (1996)

1.2.2 Conferências do Clima e o Protocolo de Kyoto

A preocupação com as mudanças do clima e suas consequências para o planeta levaram, em 1988, com que o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e a Organização Meteorológica Mundial (OMM) estabelecessem o **Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima** (IPCC¹⁴, sigla em inglês), estruturado basicamente em quatro frentes de trabalho (*Working Groups*), cuja função é fornecer informações científicas sobre as alterações do clima (*Working Group I*), seus impactos, adaptações e vulnerabilidades (*Working Group II*), estratégias de mitigação (*Working Group III*) e auxiliar na elaboração de inventários

¹⁴ Intergovernmental Panel Climate Change

nacionais de GEE (*Working Group IV*), baseados no conhecimento científico mundial (CAMPOS, 2001).

A necessidade de se estruturar uma política internacional que abordasse de forma funcional a questão do clima levou as Nações Unidas a criarem o Comitê Intergovernamental de Negociação para a Convenção Quadro sobre Mudanças do Clima (INC/FCCC¹⁵, sigla em inglês), em dezembro de 1990 (NISHI, 2003).

As negociações levaram mais tarde, em 1992, durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio-Ambiente e Desenvolvimento, em junho de 1992, no Rio de Janeiro (Rio 92), à criação de um documento, assinado por mais 150 países, que resultou na **Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima** (UNFCCC). A convenção entrou em vigor em 21 de março de 1994, com a assinatura da quinquagésima ratificação dos países signatários, visando à estabilização das emissões de GEE e com metas voluntárias de redução de emissões para o ano 2000 (NISHI, 2003; ROCHA, 2004).

Durante a Rio 92 também foi estabelecida que os países signatários, “Partes”, se reuniriam anualmente para discutir o problema em encontros nomeados de **Conferência das Partes** (COP¹⁶, sigla em inglês). Até então foram realizadas 16 conferências ao redor do mundo.

A COP 3, realizada em Kyoto, 1997, destaca-se como o mais importante dos encontros realizados, dela resultou o **Protocolo de Kyoto**.

O objetivo da reunião era, prioritariamente, estabelecer um documento jurídico contendo metas de emissões de GEE para os países desenvolvidos (CAMPOS, 2001; NISHI, 2003; ROCHA, 2004).

O documento redigido, propondo responsabilidades comuns, porém diferenciadas em relação às emissões de GEE, recebeu o nome de Protocolo de Kyoto e estabeleceu que os países do Anexo B (países listado no Anexo I do Protocolo com compromissos de redução de GEE) deveriam reduzir suas emissões de GEE em pelo menos 5% durante o primeiro período de compromisso do protocolo, de 2008 a 2012, em relação às emissões de um ano, ou intervalo de anos, base, sendo usualmente adotado o ano de 1990 (UNFCCC, 1998).

¹⁵ Intergovernmental Negotiating Committee for a Framework Convention on Climate Change

¹⁶ Conference of Parts

Artigo 3 do Protocolo de Kyoto (UNFCCC, 1998):

Artigo 3.1 – As Partes incluídas no Anexo I devem, individual ou conjuntamente, assegurar que suas emissões antrópicas agregadas, expressas em dióxido de carbono equivalente, dos gases de efeito estufa listados no Anexo A não excedam suas quantidades atribuídas, calculadas em conformidade com seus compromissos quantificados de limitação e redução de emissões descritos no Anexo B e de acordo com as disposições deste Artigo, com vistas a reduzir suas emissões totais desses gases em pelo menos 5 por cento abaixo dos níveis de 1990 no período de compromisso de 2008 a 2012.

O Protocolo classificou os países com metas de redução de GEE em países do Anexo I e Anexo II, sendo os países do Anexo I todos os países da Organização de Cooperação Econômica e Desenvolvimento (OECD¹⁷, sigla em inglês) em 1990 mais os países com economias em transição (Europa central e leste, com exceção da Albânia e da maioria dos países formadores da Iugoslávia). Por consequência, os demais países são classificados como Não-Anexo I (UNFCCC, 2003).

As Partes do Anexo II consistem nos membros da OECD do Anexo I, mas sem a participação dos países com economias em transição. Eles são obrigados a promover fontes de recursos e capacitar países em desenvolvimento de desenvolverem atividade que resultem na redução de emissões de GEE segundo a UNFCCC e ajudá-los a se adaptarem aos efeitos adversos das mudanças do clima. Os financiamentos são providos pelas Partes do Anexo II, principalmente através dos mecanismos de flexibilização criados pela UNFCCC e dispostos no Protocolo de Kyoto (UNFCCC, 2003).

Países com os compromissos assumidos sob o Protocolo de Kyoto devem atingir suas metas de redução de emissões de GEE principalmente através de medidas nacionais. Não obstante, como um meio adicional de cumprir estes objetivos, o Protocolo de Kyoto introduziu três mecanismos de redução baseados no mercado (UNFCCC, 1998), criando o que hoje é conhecido como "mercado de carbono", baseado nos conceitos de pagamento por serviços ambientais (PSA) e desenvolvimento sustentável, a serem abordados nos próximos tópicos.

¹⁷ Organization of Economic Cooperation and Development

1.2.2.1 Desenvolvimento sustentável

As primeiras ideias a cerca de um novo modelo de desenvolvimento, que viria a se tornar o chamado **desenvolvimento sustentável**, surgiram em 1968, com a criação do Clube de Roma, reunindo inúmeras pessoas com grande importância política e intelectual. "Os limites do crescimento", relatório preparado a pedido do clube, pelo Instituto de Tecnologia de Massachusetts, foi um dos mais importantes documentos de sua época em relação à questão do desenvolvimento humano. Nele, simulações virtuais projetaram os impactos da exploração dos recursos naturais para o ano de 2100. O relatório sugere o congelamento do crescimento da população global e do capital industrial para se alcançar a estabilidade econômica e ecológica (JACOBI, 2003).

No entanto, é 1987 que o conceito é formalizado com a publicação do relatório da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, "Nosso Futuro Comum"¹⁸, conhecido comumente como Relatório Brundtland.

Segundo o Relatório Brundtland (1987):

Desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que atende as necessidades do presente sem comprometer a habilidade das futuras gerações atenderem suas próprias necessidades. Ele contém em si dois conceitos fundamentais: (1) o conceito de 'necessidades', em particular as necessidades essenciais dos pobres do mundo, aos quais deve ser dada prioridade absoluta, e (2) a idéia de limitações impostas pelo estado da tecnologia e da organização social sobre a capacidade do meio ambiente para atender às necessidades presentes e futuras.

1.2.2.2 Acordo de Bonn

O Acordo de Bonn é considerado um dos mais difíceis já realizados na história das COP. Foi estabelecido em 2001, na conferencia conhecida como COP 6 BIS ou COP 6,5, um ano após os EUA anunciarem, na COP 6 em 2000, que não tinham interesse em continuar com as negociações do Protocolo de Kyoto (NISHI, 2003; ROCHA, 2004).

¹⁸ Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future

O Acordo abrange uma série de concessões, em especial, relacionadas ao uso de sumidouro de carbono para a geração de créditos para os países do chamado *Umbrella Group* (Austrália, Canadá, Japão e Rússia). Entre seus pontos mais importantes estão, dessa forma, os projetos envolvendo o Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas (LULUCF¹⁹, sigla em inglês) e a reformulação das penalidades relacionadas ao não cumprimento dos compromissos de redução de emissões, tendo por objetivo torná-las mais brandas para evitar a desistência de outros países, em especial do *Umbrella Group*, uma vez que, com a saída dos EUA (responsável por 36% das emissões antrópicas de GEE até então), o Protocolo poderia nunca entrar em vigor (NISHI, 2003; ROCHA, 2004; DOMINGOS, 2007).

1.2.2.3 Acordo de Marrakesh

Na COP 7, propriamente dita, também em 2001, realizada em Marrakesh, foram fechadas as regras operacionais apresentadas no Acordo de Bonn e para o Protocolo de Kyoto (ROCHA, 2004; DOMINGOS, 2007).

Entre os pontos estabelecidos pelo Acordo de Marrakesh estão as regras operacionais para o LULUCF, para os mecanismos de flexibilização e para os Artigos 5, 7 e 8 do Protocolo (que tratam da definição do sistema nacional para inventário de emissões, das informações adicionais à UNFCCC exigidas pelo Protocolo e do processo de revisão das comunicações nacionais) e as regras de limitação de uso de créditos oriundos de projetos de LULUCF. Além disso, o acordo criou o Comitê Executivo do MDL (EB²⁰, sigla em inglês), responsável pela aprovação das metodologias, aprovação de entidades validadoras de projeto (Entidades Operacionais Designadas) e o desenvolvimento e manutenção dos registros dos projetos de MDL (ROCHA, 2004).

Em relação ao cumprimento das metas de redução das emissões, o Protocolo definiu que os países que não atingirem suas metas durante o primeiro período de compromisso, de 2004 a 2008, deverão fazê-lo no segundo período, com um acréscimo de 30% em suas metas, além de ficarem impossibilitados de se utilizarem dos mecanismos de flexibilização para tal (DOMINGOS, 2007).

¹⁹ Land Use, Land Use Change and Forestry

²⁰ Executive Board

1.2.2.4 Ratificação do Protocolo

O Protocolo de Kyoto foi aberto para assinatura em 16 de março de 1998 e entrou em vigor em 16 de fevereiro de 2005, em conformidade com o artigo 23, sendo o nonagésimo dia após a data em que pelo menos 55 Partes da UNFCCC, englobando as Partes incluídas no Anexo I responsáveis por pelo menos 55% das emissões totais de dióxido de carbono em 1990, tenham depositado os respectivos instrumentos de ratificação, aceitação, aprovação ou adesão ao Protocolo (CAMPOS, 2001; ROCHA, 2004).

Atualmente, 193 Partes (192 membros e uma organização de integração econômica regional) ratificaram o Protocolo de Kyoto, representando um percentual total das emissões das Partes do ANEXO I de 63,7% ²¹.

1.2.2.5 Pagamento por serviços ambientais

Além de bens, a natureza é também provedora de serviços ao homem. Alguns desses serviços são conhecidos pelo homem, outro, devido a sua complexidade, ainda não foram desvendados (ALTMANN, 2009). Os serviços prestados ao homem pela natureza são conhecidos como serviços ambientais e, embora não possuam um preço pré-definido, são extremamente valiosos e caros (BENSUSAN, 2002).

Segundo Altmann (2009), em 1997, um estudo estimou que o valor monetário dos serviços ambientais prestados por 16 ecossistemas diferentes seria quase o dobro do PIB mundial.

O conceito do pagamento por serviços ambientais (PSA) visa beneficiar quem contribui diretamente para a preservação de algum serviço ambiental de vital importância para a humanidade (ALTMANN, 2009).

Como bem discorre o Projeto de Lei 792/07 (BRASIL, 2007), que dispõe sobre a questão de PSA, uma vez que os efeitos desses serviços são usufruídos por todos, é justo que as pessoas por eles responsáveis recebam incentivos, não bastando cobrar uma taxa de quem polui ou degrada, mas destinando recursos a quem garante a oferta dos serviços voluntariamente.

Segundo relatório do Centro para Pesquisas Florestais Internacionais (CIFOR²², sigla em inglês) (WUNDER, 2005), atualmente, destacam-se o interesse

²¹ www.unfccc.int

²² Center for International Forestry Research

de PSA por quatro tipos de serviços ambientais relacionados às florestas (podendo ocorrer de forma sinérgica): (1) fixação e armazenamento de carbono; (2) proteção da biodiversidade; (3) proteção de bacias hidrográficas e (4) preservação de paisagem de beleza cênica.

No trabalho de campo da CIFOR, cinco critérios com base na literatura teórica são usados em uma definição do princípio do PSA: (1) uma transação voluntária em que (2) um serviço ambiental bem definido (3) é “comprado” por no mínimo um comprador de (4) no mínimo um provedor responsável pela manutenção desse serviço (5) se, e somente se, o provedor desse serviço garantir a continuidade da prestação do mesmo (WUNDER, 2006).

A Figura 3 ilustra o resultado esperado de PSA baseados no serviço ambiental de fixação e armazenamento de carbono em ecossistemas florestais sob diferentes linhas de base.

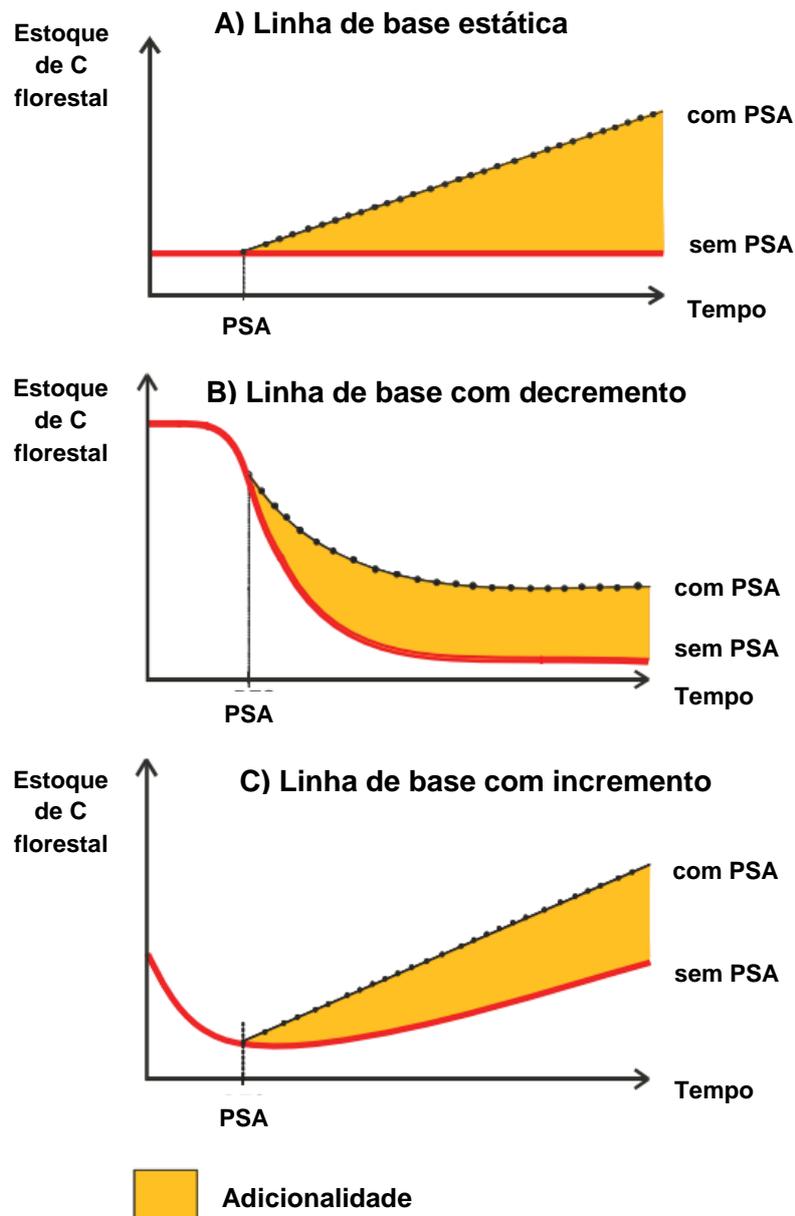


Figura 3 – Impacto do PSA na dinâmica dos estoques florestais de carbono em relação a diferentes linhas de base

Fonte: CIFOR (WUNDER, 2005)

Segundo Greiber (2009), existem três mecanismos distintos para a realização de PSA: (1) PSA por fontes privadas; (2) PSA baseados em esquemas de *cap-and-trade* e (3) PSA por fontes governamentais.

1.2.2.6 Mecanismos de flexibilização do Protocolo de Kyoto

São três os mecanismos de flexibilização criados pelo Protocolo de Kyoto: **Comércio de Emissões, Implementação Conjunta e Mecanismo de Desenvolvimento Limpo** (UNFCCC, 1998).

Eles têm por objetivo estimular o desenvolvimento sustentável através da transferência de tecnologia e de investimentos, ajudar os países com compromissos de redução perante o Protocolo de Kyoto a cumprir suas metas da forma mais economicamente atrativa possível e incentivar o setor privado e os países em desenvolvimento a contribuir para os esforços de redução das emissões mundiais.

- **Comércio de Emissões**

Os países com compromissos assumidos sob o Protocolo de Kyoto (Anexo B) aceitaram metas para limitar ou reduzir suas emissões. Estas metas estão expressas em volume de emissões permitidas ao longo do primeiro período de compromisso do Protocolo, de 2008 a 2012. As emissões permitidas são conhecidas como "Unidades de Quantidade Atribuída" (AAU²³, sigla em inglês).

O comércio de emissões, tal como estabelecido no artigo 17 do Protocolo de Kyoto, permite aos países que possuam essas unidades de emissão permitida de sobra (não utilizadas), vender sua capacidade excedente para países que tenham emitido além de suas metas (UNFCCC, 1998).

- **Implementação Conjunta – IC**

O mecanismo conhecido como Implementação Conjunta (ou *Joint Implementation*, em inglês), definido no artigo 6º do Protocolo de Kyoto, permite que um país com compromisso de redução ou limitação de emissões de GEE sob o Protocolo de Kyoto (Anexo B), adquirir "Unidades de Redução de Emissões" (ERU²⁴, sigla em inglês) a partir de um projeto de redução ou remoção de emissões implementado em outro país do Anexo B, cada unidade equivale a uma tonelada de CO₂ e pode ser contabilizada para atingir as metas definidas pelo Protocolo.

A Implementação Conjunta oferece ao país implementador do projeto um meio flexível e eficiente de cumprir uma parte dos seus compromissos de redução,

²³ Assigned Amount Units

²⁴ Emission Reduction Units

enquanto que o país anfitrião do projeto recebe os benefícios do investimento estrangeiro e a transferência de tecnologia.

Um projeto de IC deve resultar em uma redução das emissões de GEE de fontes emissoras ou promover um aumento das remoções de GEE por sumidouros (reservatórios), que sejam adicionais ao que teria ocorrido na ausência do projeto.

Projetos implementados a partir do ano 2000 podem ser elegíveis como projetos de IC, caso preencham os requisitos pertinentes, mas as ERU só podem ser emitidas para um período de crédito iniciado após o início de 2008.

- **Mecanismos de Desenvolvimento Limpo – MDL**

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), definido no artigo 12 do Protocolo, permite que um país com compromisso de redução de emissões sob o Protocolo de Kyoto possa implementar projetos de redução de emissões ou remoção de GEE em países em desenvolvimento (países Não-Anexo I). Esses projetos por sua vez geram créditos de carbono conhecidos como “Reduções Certificadas de Emissões” (CER²⁵, sigla em inglês), cada uma equivalente a uma tonelada de CO₂, e podem ser utilizadas para se atingir as metas do Protocolo.

O mecanismo é visto por muitos como desbravador. É o primeiro esquema global de investimento ambiental e regime de crédito de sua espécie, criando uma moeda padronizada para a comercialização de emissões, o CER.

O mecanismo estimula o desenvolvimento sustentável e a redução de emissões, enquanto cria certa flexibilidade para que os países industrializados cumpram suas metas de redução de emissões.

2.2.7 Créditos de carbono

Os “créditos de carbono” são baseados na unidade dióxido de carbono equivalente (CO₂-e). Cada unidade de “crédito” ou certificado de redução de GEE corresponde a uma unidade de CO₂-e, que por sua vez representa uma tonelada de CO₂ deixada de ser emitida ou que foi removida da atmosfera.

A padronização das emissões foi necessária uma vez que o CO₂, como mencionado anteriormente, não é o único GEE (EPA, 2009).

²⁵ Certified Emission Reduction

Uma vez que o Protocolo de Montreal determinou o fim da utilização dos clorofluorcarbonos, principais responsáveis pela destruição da camada de ozônio, até o fim de 2000, esses gases foram excluídos do Protocolo de Kyoto (ROCHA, 2004). Todos os demais GEE abordados pelo Protocolo de Kyoto tiveram seu potencial de aquecimento global padronizado em relação ao CO₂, baseado nas informações do "Segundo Relatório de Avaliação do IPCC"²⁶ (1996) sobre os efeitos dos GEE para um horizonte de tempo de 100 anos, de modo que suas reduções fossem representadas em unidades de CO₂-e (IPIECA, 2007), conforme as decisões 4/CP.1 e 9/CP.2 das Conferências das Partes. Esses valores podem ser observados na Tabela 9 a seguir.

²⁶ Climate Change 1995, The Science of Climate Change: Summary for Policymakers and Technical Summary of the Working Group I Report

Tabela 9 – Gases do efeito estufa e seus potenciais de aquecimento global

| GEE | Fórmula química | Tempo de vida (anos) | Potencial de aquecimento global (horizonte de tempo) | | |
|-------------------------|---|----------------------|--|----------|----------|
| | | | 20 anos | 100 anos | 500 anos |
| Dióxido de carbono | CO ₂ | variável | 1 | 1 | 1 |
| Metano | CH ₄ | 12 ± 3 | 56 | 21 | 6.5 |
| Óxido nitroso | N ₂ O | 120 | 280 | 310 | 170 |
| HFC-23 | CHF ₃ | 264 | 9.100 | 11.700 | 9.800 |
| HFC-32 | CH ₂ F ₂ | 5,6 | 2.100 | 650 | 200 |
| HFC-41 | CH ₃ F | 3,7 | 490 | 150 | 45 |
| HFC-43-10mee | C ₅ H ₂ F ₁₀ | 17,1 | 3.000 | 1.300 | 400 |
| HFC-125 | C ₂ HF ₅ | 32,6 | 4.600 | 2.800 | 920 |
| HFC-134 | C ₂ H ₂ F ₄ | 10,6 | 2.900 | 1.000 | 310 |
| HFC-134a | CH ₂ FCF ₃ | 14,6 | 3.400 | 1.300 | 420 |
| HFC-152a | C ₂ H ₄ F ₂ | 1,5 | 460 | 140 | 42 |
| HFC-143 | C ₂ H ₃ F ₃ | 3,8 | 1.000 | 300 | 94 |
| HFC-143a | C ₂ H ₃ F ₃ | 48,3 | 5.000 | 3.800 | 1.400 |
| HFC-227ea | C ₃ HF ₇ | 36,5 | 4.300 | 2.900 | 950 |
| HFC-236fa | C ₃ H ₂ F ₆ | 209 | 5.100 | 6.300 | 4.700 |
| HFC-245ca | C ₃ H ₃ F ₅ | 6,6 | 1.800 | 560 | 170 |
| Hexafluoreto de enxofre | SF ₆ | 3.200 | 16.300 | 23.900 | 34.900 |
| Perfluorometano | CF ₄ | 50.000 | 4.400 | 6.500 | 10.000 |
| Perfluoroetano | C ₂ F ₆ | 10.000 | 6.200 | 9.200 | 14.000 |
| Perfluoropropano | C ₃ F ₈ | 2.600 | 4.800 | 7.000 | 10.100 |
| Perfluorobutano | C ₄ F ₁₀ | 2.600 | 4.800 | 7.000 | 10.100 |
| Perfluorociclobutano | c-C ₄ F ₈ | 3.200 | 6.000 | 8.700 | 12.700 |
| Perfluoropentano | C ₅ F ₁₂ | 4.100 | 5.100 | 7.500 | 11.000 |
| Perfluorohexano | C ₆ F ₁₄ | 3.200 | 5.000 | 7.400 | 10.700 |

Fonte: IPCC (1996)

As emissões das Partes do Anexo I tem os balanços de suas emissões contabilizadas em função da unidade CO₂-e, conforme disposto no Protocolo:

Artigo 4 do Protocolo de Kyoto (UNFCCC, 1998):

Artigo 4.1 – Qualquer Parte incluída no Anexo I que tenha acordado em cumprir conjuntamente seus compromissos assumidos sob o Artigo 3 será considerada como tendo cumprido esses compromissos

se o total combinado de suas emissões antrópicas agregadas, expressas em dióxido de carbono equivalente, dos gases de efeito estufa listados no Anexo A não exceder suas quantidades atribuídas, calculadas de acordo com seus compromissos quantificados de limitação e redução de emissões, descritos no Anexo B, e em conformidade com as disposições do Artigo 3. O respectivo nível de emissão determinado para cada uma das Partes do acordo deve ser nele especificado.

Assim, uma nova commodity foi criada sob a forma de redução de emissão/remoção de GEE. Uma vez que o dióxido de carbono é o principal gás de efeito estufa, a moeda de troca desse comércio ficou conhecida genericamente como "carbono" ou "crédito de carbono". O carbono é atualmente controlado e negociado como qualquer outra commodity. Isto é conhecido como o mercado de carbono.

1.2.2.8 Atividades de projetos florestais

A COP 7 decidiu que para projetos de MDL, somente seriam elegíveis atividades de reflorestamento e florestamento e que, para o primeiro período de compromisso do protocolo, o total de CER oriundos dessas atividades utilizados para se atingir as metas de redução de um determinado país não poderiam ser superior a 1% das emissões do ano ou período base, multiplicado por cinco²⁷ (ROCHA, 2004).

A COP 9 apresentou as definições²⁸ necessárias para o desenvolvimento de projetos florestais no âmbito do MDL, entre elas:

- **Floresta**

(...) uma área mínima de terreno de 0,05 – 1,0 hectares com cobertura de copa de árvore (ou equivalente nível de estoque) de mais de 10 – 30 por cento, com árvores com potencial de altura mínima de 2 – 5 metros na maturidade, *in situ*. Uma floresta pode consistir de formações florestais fechadas onde árvores de várias

²⁷ Decisão 11/CP.7

²⁸ Decisão 19/CP.9

formações e sub-bosque cobrem uma alta proporção do terreno, ou floresta aberta. Estandes naturais jovens e todas as plantações que ainda forem atingir uma densidade de copa de 10 – 30 por cento ou altura de árvore de 2 – 5 metros são consideradas floresta, assim como áreas que normalmente formam parte de uma área florestal e que estão temporariamente sem estoque como resultado de intervenção humana tal como corte ou causas naturais e que são esperadas a reverter para floresta (NEFF; LUEPKE; SCHOENE, 2006).

- **Florestamento**

(...) conversão diretamente induzida pelo homem de terreno que não foi floresta por um período de pelo menos 50 anos para floresta, através da plantação, sementeira, ou promoção induzida pelo homem de fontes naturais de sementes (NEFF; LUEPKE; SCHOENE, 2006).

- **Reflorestamento**

(...) conversão diretamente induzida pelo homem de terreno não florestal para terreno florestal através da plantação, sementeira, ou promoção induzida pelo homem de fontes naturais de sementes, em terreno que foi florestal mas que foi convertido para terreno não florestal. Para o primeiro período de compromisso, as atividades de reflorestamento se limitarão a reflorestamentos em terrenos que não continham floresta desde 31 de dezembro de 1989 (NEFF; LUEPKE; SCHOENE, 2006).

1.2.2.9 REDD+

A COP 15 confirmou que as florestas irão representar um importante papel para o futuro das estratégias de mitigação das mudanças do clima (KOSSY; AMBROSI, 2010). O programa REDD das Nações Unidas (UN-REDD²⁹, sigla em inglês) é a iniciativa das Nações Unidas para a redução de emissões por desmatamento e degradação florestal nos países em desenvolvimento (UN-REDD, 2010).

²⁹ United Nations Collaborative Programme on Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation in Developing Countries

O programa foi lançado em 2008 envolvendo a FAO, o PNUMA e o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (UNDP³⁰, sigla em inglês) (UN-REDD, 2010).

O UN-REDD visa estabelecer um programa limitado não apenas às atividades de REDD, mas englobando a conservação de estoques de carbono em florestas, o manejo sustentável das florestas, e nesse contexto cabe ressaltar o papel do MF-EIR, tema desta dissertação, e o incremento dos estoques de carbono em florestas de países em desenvolvimento, em um pacote conhecido hoje como REDD+ (KOSSY; AMBROSI, 2010).

Em contato informal, a Sra. Cheryl Rosebush, diretora do escritório de comunicações programa UN-REDD, esclareceu um ponto importante: "há uma diferença entre "REDD+" e o programa UN-REDD. REDD+ é o conceito e o UN-REDD é uma das várias iniciativas multilaterais que trabalham com este conceito".

O "Plano de Ação de Bali"³¹ (UNFCCC, 2010), definido na COP 13, dispõe que um futuro programa de REDD+ deve incluir "abordagens políticas e incentivos positivos para questões relacionadas à redução das emissões provenientes de desmatamento e degradação florestal em países em desenvolvimento". Mais especificamente, deve:

(...) (b) Incrementar ações nacionais/internacionais de mitigação das mudanças do clima, incluindo, inter alia, considerações sobre:

(...) (iii) Abordagens políticas e incentivos positivos para assuntos relacionados a redução de emissões do desmatamento e degradação florestal nos países em desenvolvimento; e o papel da conservação, manejo sustentável das florestas e incremento dos estoques de carbono florestais em países em desenvolvimento.

O Plano adota a definição da FAO sobre manejo florestal sustentável: "(...) um conceito dinâmico e envolvente que visa manter e fortalecer os valores econômicos, sociais e ambientais de todos os tipos de florestas, para o benefício das futuras gerações" (FAO, 2010).

O Programa UN-REDD apoia, lidera processos nacionais sobre REDD+ e promove a participação informada e significativa de todas as partes interessadas, incluindo os povos indígenas e outras comunidades dependentes das florestas, em

³⁰ United Nations Development Programme

³¹ http://unfccc.int/files/meetings/cop_13/application/pdf/cp_bali_action.pdf

nível nacional e internacional de implementação. O Programa também trabalha para criar uma conscientização internacional e um consenso sobre a importância da inclusão do REDD em um futuro acordo pós-Kyoto sobre as mudanças do clima (UN-REDD, 2010).

Segundo Parker et al. (2009), a ideia básica do REDD é que os países que estão dispostos e em condições de reduzir as emissões de GEE do desmatamento sejam recompensados financeiramente por fazê-lo. A Figura 4 ilustra o processo da atividade de REDD.

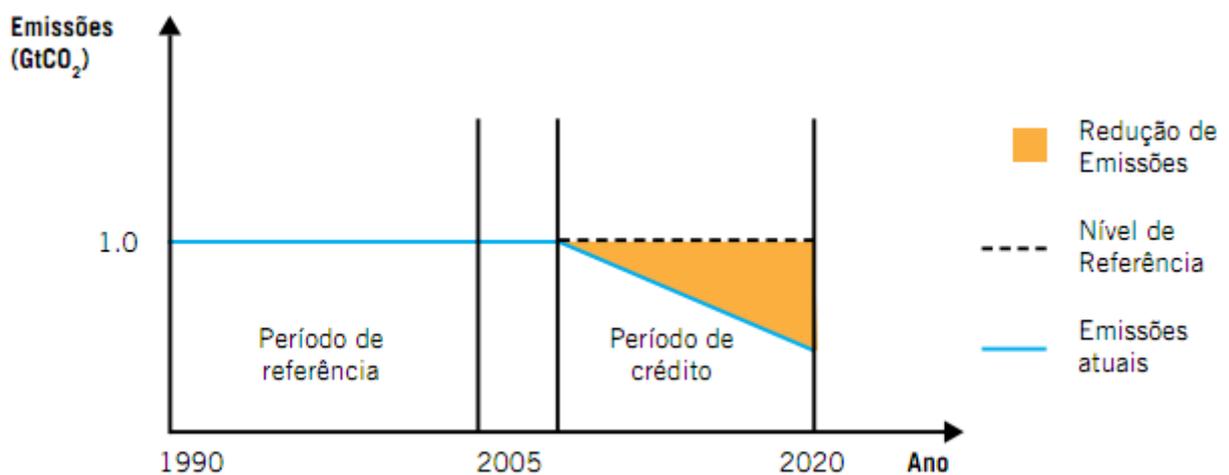


Figura 4 – Funcionamento de um projeto de REDD. O nível de referência é estabelecido durante o período de referência (nesse exemplo de 1990 a 2005). A geração de créditos a partir dessa linha de base começa durante o período de crédito. Reduções de emissões que ocorrem abaixo da linha de base histórica são contabilizadas como adicionais (créditos)

Fonte: Parker et al. (2009)

Na prática, o REDD+ pode, simultaneamente, abordar as mudanças do clima e a pobreza rural, ao mesmo tempo em que conserva a biodiversidade e dá sustentação à serviços ambientais vitais (PARKER et al., 2009).

É amplamente reconhecido que o REDD+ deva ser parte de um esforço global de mitigação das mudanças do clima por duas principais razões: (1) o desmatamento e a degradação florestal são responsáveis por aproximadamente 17% das emissões globais de GEE e (2) o REDD+ é amplamente reconhecido como

uma opção de baixo custo para redução das emissões, além de promover outros benefícios significantes (UN-REDD, 2010).

Outro forte indício de que o REDD+ seja incorporado como uma futura atividade de mitigação vem dos significativos pacotes de financiamento já anunciados para o programa. Em Copenhague, seis países (Austrália, França, Japão, Noruega, Reino Unido e EUA) prometeram US\$ 3,5 bilhões para servir de suporte ao REDD+ entre 2010 e 2012³². Desde então, outros países se juntaram ao grupo (incluindo a União Européia, Alemanha, Eslovênia e Espanha), prometendo financiamentos adicionais de US\$ 4,5 bilhões (KOSSY; AMBROSI, 2010).

1.2.4 Mercado voluntário de carbono

Ao contrário do esperado, os mercados voluntários de carbono não são recentes, na verdade surgiram antes mesmo do mercado regulado pelo Protocolo de Kyoto. A primeira comercialização de créditos de carbono ocorreu em 1989, quando a *AES Corp*, uma companhia americana de eletricidade, investiu em um projeto agroflorestal na Guatemala (HAWN, 2005 apud BAYON; HAWN; HAMILTON, 2009).

A companhia pagou fazendeiros para que plantasse 50 milhões de pinus e eucaliptos em suas terras, visando abater suas emissões de GEE por razões filantrópicas e de mercado e não por obrigações legais ou ameaça global (HAWN, 2005 apud BAYON; HAWN; HAMILTON, 2009). Essa ação marcou o começo do mercado voluntário de carbono, que continua, ainda hoje, tão controverso quanto era em 1989 (BAYON; HAWN; HAMILTON, 2009).

Segundo guia da empresa de registro de créditos de carbono, *Markit Environmental Registry* (2009), os compradores nesse mercado não são países com metas de redução obrigatórias, mas sim organizações, em geral corporações, por razões de responsabilidade sócio-ambiental e relações públicas/*branding*. A segunda razão mais comum de compras nesse mercado é a estratégia de antecipação às possíveis metas regulatórias setoriais que podem ser implementadas no futuro. Ainda, há aqueles que compram créditos voluntários com objetivo de obter vantagens competitivas e tomar ações para mitigação das mudanças do clima.

A natureza fragmentada dos mercados voluntários pode, em sua maior parte, ser atribuída ao fato de que são compostos de contratos negociados caso a caso e

³² <http://unredd.wordpress.com/2009/12/16/agreement-on-3-5-billion-initial-funding-for-redd/>

que muitos desses contratos não requerem que o crédito de carbono passe por um processo de certificação ou verificação, nem de registro. Como resultado existem tantos tipos diferentes de transações de carbono quanto tipos de compradores e vendedores, uma variedade de negócios, com ou sem fins lucrativos, baseados em diferentes modelos de venda de diversos produtos, certificados por uma ampla gama de padrões (BAYON; HAWN; HAMILTON, 2009).

A falta de uniformidade, transparência e registro dos créditos gerados no mercado voluntário lhe renderam grandes críticas de ambientalistas, que afirmam ser um jogo de aparências ao invés de uma engenharia em pró do progresso ambiental. Muitos compradores preocupam-se com a possibilidade de que os créditos esperados não sejam entregues e algumas organizações temem serem criticadas pela mídia se os créditos que compraram não apresentarem as melhores características possíveis de origem (BAYON; HAWN; HAMILTON, 2009; MERGER, 2010).

Os mercados mundiais de carbono podem ser divididos em dois segmentos: os mercados voluntários e os regulamentados ou obrigatórios. Como o nome implica, o mercado de carbono voluntário inclui todas as operações de compensação de carbono que não são exigidos por regulamentações, como a do Protocolo de Kyoto (HAMILTON et al., 2009; MERGER, 2010).

Os mercados voluntários apresentam dois componentes distintos: a Bolsa do Clima de Chicago (CCX³³, sigla em inglês), que é voluntária, mas juridicamente vinculativa, baseada em um sistema de *cap-and-trade*, e o mercado mais amplo, não vinculativo, conhecido como “mercado de balcão” ou “over-the-counter” (OTC) (HAMILTON et al., 2009), representado por esquemas padronizadores como o *Verified Carbon Standard*, o *Climate Community and Biodiversity Standard*, o *CarbonFix*, o *Plan Vivo*, entre outros (HOUSE OF COMMONS, 2007; MERGER, 2010).

Semelhante ao mercado voluntário de carbono, onde o objetivo dos compradores é atingir metas de redução, existe o chamado “mercado de retalho”³⁴, que se refere às empresas e organizações que investem em projetos de

³³ Chicago Climate Exchange

³⁴ Retail market, em inglês

compensação e, em seguida, vendem parcelas das reduções de emissões em quantidades relativamente pequenas com um *mark-up*³⁵ (TAIYAB, 2006).

1.2.4.1 Padrões do mercado voluntário de carbono

Uma dúzia de padrões para o mercado voluntário vem sendo desenvolvidos recentemente. Seu surgimento é um reflexo da preocupação dos compradores e do público em geral com a qualidade dos créditos adquiridos, bem como parte do processo de maturação do mercado (HAMILTON et al., 2009; LOPEZ, 2009; KOLLMUSS et al., 2010; MERGER, 2010).

- **Climate, Community and Biodiversity Standard – CCBS³⁶**

O CCBS foi lançado pela *Climate, Community, and Biodiversity Alliance* (CCBA), em cooperação com ONGs e especialistas independentes. É composto de membros como a *Conservation International, CARE, Rainforest Alliance, The Nature Conservancy, Wildlife Conservation Society, BP, GFA Consulting Group, Intel, SC Johnson, Sustainable Forest Management Ltd., Weyerhaeuser*, entre outros (MERGER, 2008).

O objetivo da CCBA não é emitir créditos de carbono, mas sim certificar a geração de co-benefícios de projetos. Por isso, o padrão pode ser utilizado em combinação com outros, como o MDL ou o VCS, que incluem metodologias de quantificação e verificação do carbono. No entanto, este não é um requisito, os projetos podem ser certificados pelo CCBS apenas para evidenciar seus co-benefícios de características sócio-econômicas e ambientais (MERGER, 2008; 2010). Este padrão é destinado a todos os tipos de atividades de projeto, reflorestamentos, REDD, IFM e sistemas agro-florestais.

- **CarbonFix Standard – CFS**

O CFS foi desenvolvido pela associação sem fins lucrativos *CarbonFix*, credenciada pela UNFCCC. Seus membros são especialistas e cientistas nas áreas de meio ambiente, silvicultura e desenvolvimento. A associação foi fundada em

³⁵ Termo econômico usado para indicar quanto do preço do produto está acima do seu custo de produção e distribuição.

³⁶ Padrão Clima, Comunidade e Biodiversidade, em português

1999. A primeira versão do padrão foi lançada na COP 13, em 2007 (MERGER, 2008).

O maior objetivo é prover aos desenvolvedores de projeto um padrão de alta qualidade que utiliza metodologias práticas e aplicáveis a fim de fornecer créditos de carbono credíveis para aos compradores com transparência, através de seu sistema de *track-and-trace*. Apenas atividades de projeto de reflorestamento são elegíveis neste padrão (MERGER, 2008; 2010; LOPEZ, 2009).

- **Sistema Plan Vivo**

O sistema *Plan Vivo* é uma organização originada de um projeto de pesquisa no sul do México, em 1994. O *Plan Vivo* foi desenvolvido pelo Centro para a Gestão de Carbono de Edimburgo (ECCM³⁷, sigla em inglês) em colaboração com *El Colegio de la Frontera Sur* (ECOSUR) e da Universidade de Edimburgo (PLAN VIVO, 2008; MERGER, 2008).

A Fundação *Plan Vivo* consiste de um conselho administrativo que aprova todas as emendas para o sistema *Plano Vivo*, fornece orientações estratégicas e apóia a implementação de projetos. Além disso, a Fundação recebe suporte de seu Painel de Assessoramento Técnico, que é responsável pela revisão técnica e aconselhamento sobre os projetos do *Plan Vivo* (MERGER, 2008; 2010; LOPEZ, 2009).

O objetivo do sistema *Plan Vivo* é melhorar a mitigação das alterações do clima em comunidades rurais, promover meios de subsistência sustentáveis e reduzir a pobreza. Todos os tipos de atividades de projeto são elegíveis (PLAN VIVO, 2008; MERGER, 2008; 2010; LOPEZ, 2009).

- **Verified Carbon Standard – VCS**

O programa VCS foi fundado em parceria entre as organizações *The Climate Group*, *International Emissions Trading Association* e *World Business Council for Sustainable Development*, tendo participação do Fórum Econômico Mundial em seu processo de desenvolvimento (VCS, 2011a).

A primeira versão do VCS foi lançada dia 28 de março de 2006, com a documentação para consultas e o documento piloto do padrão. A segunda versão do

³⁷ Edinburgh Centre for Carbon Management

VCS foi lançada em outubro de 2006, como um documento de consulta que não substituía a primeira versão do documento piloto padrão (VCS, 2011a).

Após dois anos de trabalho, duas rodadas de consultas públicas e o trabalho da diretoria, uma comissão de 19 membros e sete grupos de trabalho técnicos de acessória sobre governança, adicionalidade, validação e verificação, registro, mudança do uso da terra e florestas, questões políticas em geral e níveis de eficiências do padrão, foi lançada, em 19 de novembro de 2007, a versão VCS 2007 (VCS, 2008b). A VCS 2007.1, que incorporou o guia para projetos de Agricultura, Silvicultura e Outros Projetos de Uso da Terra (AFOLU³⁸, sigla em inglês), foi lançado em 18 de novembro de 2008 (MERGER, 2008; 2010; LOPEZ, 2009). A terceira versão dos documentos do VCS foi lançada em 2011 (VCS, 2011a).

Entre os objetivos do padrão estão: fornecer um programa confiável, robusto e amigável que garanta qualidade para mercados voluntários de carbono; criar regras e ferramentas inovadoras a fim de possibilitar que os créditos de carbono desperte o interesse de empresas, ONGs e entidades governamentais se engajarem em ações de mitigação das mudanças do clima; e compartilhar conhecimento e incentivar a adoção das melhores práticas nos mercados de carbono, de modo que eles desenvolvam linhas coerentes e compatíveis a medida que novas regulamentações tomam forma.

1.2.5 Tipos de atividades de uso da terra elegíveis no âmbito do VCS

Como parte de seu processo de inovação e credibilidade, combinado com o fato de que créditos de projetos florestais representam uma larga fatia do mercado voluntário de créditos de carbono, o VCS incluiu as áreas agrícola, florestal e de outros usos da terra na lista de projetos elegíveis, baseado em uma abordagem de gestão do risco de não-permanência³⁹ dos créditos. As seguintes categorias foram incluídas no guia para projetos AFOLU do VCS⁴⁰, v.3 (VCS, 2011b).

1.2.5.1 Florestamento, Reflorestamento e Revegetação – ARR

As atividades de projetos inclusas nessa categoria consistem no estabelecimento, aumento ou restauração da vegetação de cobertura através do

³⁸ Agriculture, Forestry and Other Land Use

³⁹ O conceito de não-permanência é abordado no Cap. 2 desta dissertação.

⁴⁰ Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU) Requirements

plântio, sementeira ou assistência humana à regeneração natural da vegetação lenhosa, a fim de se promover o incremento do estoque de carbono na biomassa florestal e, em certos casos, nos solos.

As definições das atividades de Florestamento, Reflorestamento e Revegetação (ARR⁴¹, sigla em inglês) são apresentadas a seguir:

- (I) Florestamento:** É a conversão diretamente induzida pelo homem de uma área que não foi floresta por um período de pelo menos 50 anos para floresta, através da plantaçã, sementeira, ou promoçã induzida pelo homem de fontes naturais de sementes;
- (II) Reflorestamento:** É a conversão diretamente induzida pelo homem de uma área não-florestal para florestal através da plantaçã, sementeira, ou promoçã induzida pelo homem de fontes naturais de sementes, em uma área que detinha florestas, mas que foi desmatada;
- (III) Revegetaçã:** É a conversão diretamente induzida pelo homem para aumentar os estoques de carbono em um sítio através do estabelecimento de uma vegetaçã de cobertura com área mínima de 0,05 hectares e que não atende às definições de florestamento ou reflorestamento do VCS.

1.2.5.2 Desmatamento Evitado – REDD

Atividades de desmatamento evitado ou REDD, reduzem a conversã de florestas nativas ou naturais para áreas não-florestais, as quais geralmente estã atreladas às atividades que reduzem a degradaçã florestal e aumentam os estoques de carbono de florestas secundárias ou degradadas que seriam desmatadas na ausênciã das atividades do projeto de desmatamento evitado.

1.2.5.3 Melhorias do Manejo Florestal – IFM

As atividades relacionadas ao melhoramento do manejo florestal ou IFM sã aquelas implementadas em áreas florestais manejadas voltadas à produçã de madeira serrada, celulose e lenha, incluídas na categoria “remanescentes florestais como as florestas” do IPCC (2006). Apenas áreas não sancionadas e aprovadas para tais atividades por órgãos reguladores nacionais sã elegíveis para geraçã de créditos dentro da categoria IFM do VCS (VCS, 2008a; VCS, 2011b).

⁴¹ Afforestation, Reforestation and Revegetation

Atividades de redução de emissões de degradação florestal em áreas não sancionadas não são elegíveis para a geração de créditos na categoria de IFM, mas podem ser creditadas como atividades de REDD (VCS, 2008a; VCS, 2011b).

Várias atividades de manejo florestal sancionadas podem ser alteradas de forma a aumentar os estoques de carbono e/ou reduzir as emissões de GEE, mas somente algumas delas são mensuravelmente diferentes a longo prazo quanto ao incremento dos benefícios de mitigação dos GEE quando comparadas com as práticas comuns⁴². Atividades IFM podem levar a uma redução do potencial madeireiro fora da área do projeto, causando vazamento de emissões⁴³, devido ao deslocamento de atividades exploratórias para outras áreas florestais. Esses vazamentos devem ser devidamente quantificados.

De acordo com o Guia para Projetos AFOLU do VCS, as seguintes atividades IFM, em florestas de terra alta e de várzea e plantações florestais, são elegíveis (VCS, 2008a; VCS, 2011b):

- (I) Conversão de exploração convencional para exploração de impacto reduzido:** reduzindo a emissão de carbono da exploração da madeira através de: redução de danos a outras árvores, direcionando a queda ou cortando cipós; melhorando a seleção das árvores a serem cortadas baseando-se em inventários para conhecer a localização e o tamanho dos indivíduos; melhorando o planejamento das trilhas de arraste e estradas. Entretanto essas atividades podem diminuir o volume de madeira retirado do sítio e com isso resultar em vazamentos pelo deslocamento da atividade exploratória para outras áreas.
- (II) Conversão de florestas exploradas para unidades de conservação:** Inclui (1) proteção de áreas atualmente exploradas ou degradadas pela exploração madeireira e (2) proteção de florestas que não sofrem exploração madeireira, mas que seriam exploradas na ausência do incentivo financeiro do projeto de carbono.
- (III) Aumento do período de rotação/ciclo de corte de uma cultura:** o aumento da rotação aumenta o estoque de carbono. As árvores são tipicamente colhidas no ano do ponto econômico ótimo; estendendo o ano em que as árvores são cortadas aumentasse a média de carbono estocado na

⁴² business-as-usual

⁴³ O conceito 'vazamento' é abordado no Cap. 2 desta dissertação

área. Não há período fixo de anos para essa expansão, generalizadamente quanto maior melhor, na ordem de 5 a 20 anos.

(IV) Conversão de florestas de baixa produtividade para florestas produtivas: ou aumento do estoque de carbono em floresta com baixo estoque. Florestas de baixa produtividade geralmente satisfazem uma das seguintes condições: encaixam-se na definição nacional de florestas, mas não contém madeira de valor para usos comerciais; encontram-se degradadas ou em processo de degradação devido à frequência de distúrbios (fogo, gado, coleta de lenha, etc.); ou apresentam uma taxa de crescimento lenta ou pequena cobertura do dossel. As atividades do projeto podem incluir introdução de outras espécies arbóreas com maior valor madeireiro ou com crescimento mais rápido ou ainda a mitigação da frequência de distúrbios, adoção de plantios de enriquecimento para aumentar a densidade das árvores e/ou outras técnicas de manejo (ex.: fertilização, calagem) a fim de se aumentar o estoque de carbono.

1.2.6 Desmatamento em florestas tropicais

As florestas tropicais são em geral definidas por sua localização, entre os trópicos de Câncer e Capricórnio, 23,5° norte e sul, respectivamente (Figura 5). Ocorrem em ambientes distintos, desde muito úmidos até secos (GORTE; SHEIKH, 2010).

As florestas tropicais úmidas são caracterizadas por apresentarem altos índices de precipitação, vegetação densa e enorme biodiversidade, sendo considerados os ecossistemas de maior biodiversidade do planeta, apontadas por alguns como retentora de aproximadamente 50% de toda biodiversidade (GORTE; SHEIKH, 2010).

Atualmente, encontram-se ameaçadas por diferentes processos de desmatamento e degradação. É importante destacar que, enquanto o desmatamento envolve a conversão de florestas para outra forma uso da terra, degradação resulta em florestas que perderam algumas de suas propriedades de prover bens e serviços ambientais (NASI et al., 2011).

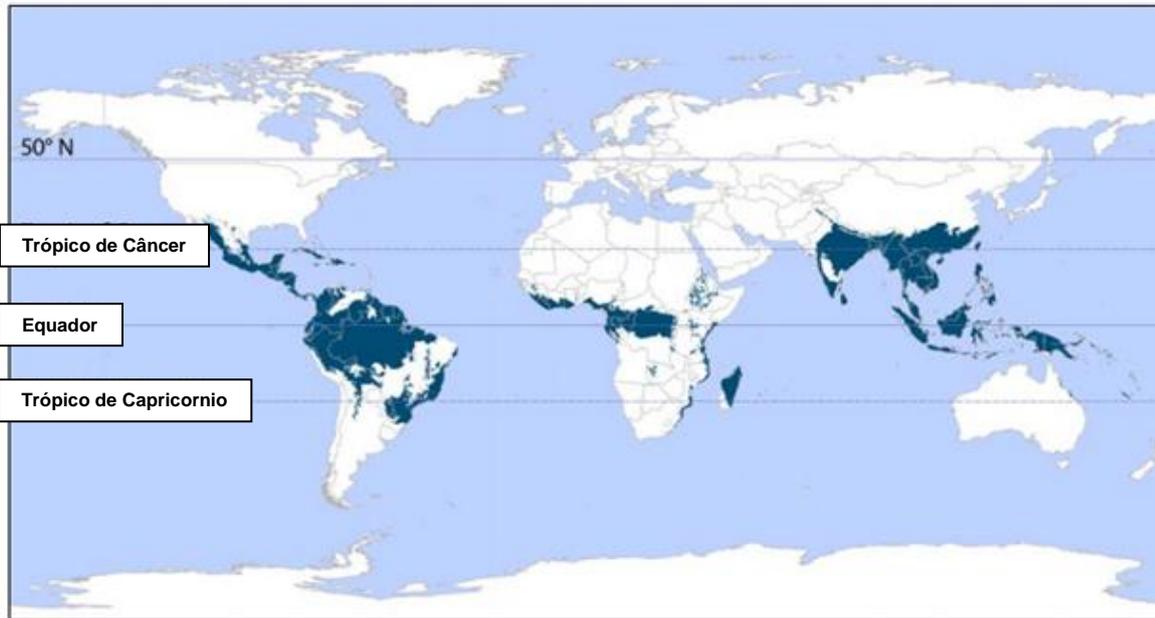


Figura 5 – Florestas tropicais do mundo

Fonte: Gorte e Sheikh (2010)

As fontes de desmatamento em florestas variam de região para região e, portanto, uma solução única para reduzi-la provavelmente não seria suficiente (GORTE; SHEIKH, 2010). No entanto, algumas dessas fontes são comuns em praticamente todas as regiões, como a abertura florestal para agricultura, seja agricultura itinerante ou permanente de pequena ou grande escala, exploração florestal para fins madeireiros ou energéticos, forças de mercado e dois principais fatores subjacentes: construção de estradas e políticas governamentais (LAMBIM; HELMUT, 2001; WILLIAMS, 2006).

As fontes de desmatamento agem, em geral, de forma isolada, porém seguindo uma projeção. Segundo Gorte e Sheikh (2010), nas regiões da Bacia Amazônica, a exploração madeireira convencional leva à construção de estradas em florestas intactas e após a exploração, fazendeiros locais utilizam tais estradas para ter acesso as áreas exploradas para convertê-las em áreas agrícolas ou de pastagem.

A exploração madeireira de espécies de valor comercial e para lenha são as principais causas do desmatamento das florestas tropicais. As florestas tropicais têm uma grande diversidade de espécies de árvores por hectare, porém, apenas algumas possuem valor comercial. Dessa forma, a exploração madeireira de

espécies de valor comercial cria estradas e trilhas pela floresta para acessar indivíduos selecionados mais valiosos (prática conhecida como corte seletivo), muitas vezes deixando para trás árvores danificadas e cortadas. Para algumas espécies, notadamente, a biomassa lenhosa deixada no campo pode ser superior à da madeira recolhida. Embora o corte possa não ser uma importante causa direta do desmatamento, é uma importante causa subjacente (GORTE; SHEIKH, 2010).

O manejo florestal com Exploração de Impacto Reduzido pode reduzir os danos às árvores residuais e ao solo significativamente, através de mapeamento dos indivíduos arbóreos de interesse e estratégias de planejamento de colheita, como a construção eficiente de estradas e ramais de arraste (DYKSTRA, 2002).

1.2.7 Manejo florestal com Exploração de Impacto Reduzido – MF-EIR

Na área florestal, é comum uma distinção entre os termos “colheita madeireira” e “exploração madeireira”. Enquanto o último se refere ao processo de derrubada e extração da madeira nas florestas, o primeiro está associado às atividades de planejamento pré-colheita, técnicas de supervisão e avaliações pós-colheita sobre a qualidade dos demais recursos não-madeireiros e o futuro estado da floresta. O termo “exploração de impacto reduzido” (EIR), entretanto, está associado ao da “colheita madeireira”. EIR é um termo coletivo relacionado ao uso de princípios científicos e de engenharia, combinados com educação e treinamentos, para melhorar o emprego da mão-de-obra, equipamentos e métodos operacionais na colheita de madeira para fins industriais (DYKSTRA, 2002).

Apesar dos elevados níveis de biomassa, as florestas tropicais, em geral, apresentam um volume de madeira com valor comercial muito inferior ao das florestas temperadas e plantios florestais (WADSWORTH, 1997). A média dos volumes explorados por hectare de floresta tropical é inferior a 30 m³, oriundos de 10 ou menos indivíduos, de espécies diferentes (FAO, 1993). Como consequência do volume relativamente pequeno explorado por hectare, a área floresta perturbada pela atividade para atender aos volumes demandados pela indústria madeireira é substancialmente maior do que em florestas temperadas e plantações florestais. Isso significa que as operações exploratórias em florestas tropicais são espalhadas sob extensas áreas e, embora isso represente uma redução de impactos gerados por hectare, pode resultar em um maior impacto total devido aos quilômetros adicionais

de estradas e ramais de arraste, além de deixar as áreas florestais mais atrativas para colonização (DYKSTRA, 2002).

Em geral, as tecnologias da EIR que vêm sendo promovidas para adoção no manejo de florestas tropicais vêm sendo desenvolvidas e utilizadas como práticas comuns em florestas temperadas. Sendo assim, não apresentam nada de novo. Não obstante, devido às diferenças entre as florestas tropicais e temperadas, muitas dessas práticas necessitam de ajustes significativos a fim de atingirem viabilidade econômica e técnica nos trópicos (DYKSTRA, 2002).

Segundo Sist, Dykstra e Fimbel (1998), embora tais práticas variem em relação à situação local, a EIR em florestas tropicais utiliza-se de:

- a) Inventário pré-colheita e mapeamento dos indivíduos de valor comercial;
- b) Planejamento pré-colheita das estradas, trilhas de arraste e pátios para fornecer acesso à área de colheita e aos indivíduos marcados para corte, de forma a minimizar a perturbação no solo e proteger os rios e cursos d'água através de passagens apropriadas;
- c) Corte pré-colheita dos cipós em áreas onde há significativos emaranhados entre as copas das árvores;
- d) Uso de técnicas apropriadas de corte e traçamento, incluindo direcionamento de queda, corte das árvores com altura próxima ao solo para evitar desperdícios e otimização do desdobramento dos caules em toras, de modo a maximizar a recuperação da madeira apropriada para fins madeireiros;
- e) Construção de estradas, pátios e trilhas de arraste de acordo com os desenhos de guias ambientais e de engenharia;
- f) Emprego de guinchos nas trilhas de arraste planejadas, além de se assegurar que as máquinas de arraste permaneçam nas trilhas o tempo todo;
- g) Onde viável, utilização de sistemas de criação de pátios que protejam os solos e a vegetação residual através da suspensão das toras acima do solo;
- h) Condução de avaliações pós-colheita visando promover *feedbacks* para os responsáveis pela concessão florestal e sua equipe, para avaliar o grau de sucesso em que as orientações da EIR foram aplicadas.

Inúmeros estudos apontam que o mapeamento individual das árvores em florestas tropicais é essencial, uma vez que poucas por hectare apresentam valor comercial. Essa informação é importante para que o planejamento de estradas, pátios e ramais de arraste seja realizado de forma a mitigar os danos aos indivíduos

residuais. Estudos como o de Barreto et al. (1998) e Holmes et al. (2002), indicam que os custos dessa prática são mais que compensados pelos benefícios gerados do mapeamento.

1.2.7.2 Conversão da EC para o MF-EIR

As perturbações causadas pela EC resultam em danos e alterações biofísicas, diminuindo à área útil de manejo com possibilidades de regeneração e comprometendo a área florestal (VIDAL; VIANA; BATISTA, 2002).

O MF-EIR é um sistema silvicultural que emprega técnicas de colheita que resultam em uma melhor regeneração da área explorada através de menores danos às árvores residuais, ao solo florestal, a qualidade da água e a diminuição dos riscos de incêndios (BARRETO; UHL; JOHNS, 1998). Segundo Boltz, Holmes e Carter (2003) as práticas de EIR compreendem o planejamento da exploração e o desenvolvimento de infraestrutura e técnicas operacionais, as quais objetivam reduzir os danos ambientais da extração da madeira enquanto aumentam a eficiência das operações.

Estudando as duas formas de exploração florestal, Holmes et al. (2002) encontraram que: (1) a proporção de terreno afetado por árvores derrubadas como resultado da ação de máquinas pesadas na área sob EIR foi 37% menor que na área sob EC; (2) menos de 10% das trilhas de arraste causaram a exposição de solos férteis na EIR, enquanto que 100% das trilhas das áreas de EC foram afetadas; (3) danos fatais às árvores comercialmente valiosas remanescentes foram 50% menores no sistema de EIR; e (4) o volume de madeira desperdiçada foi 68,4% menor quando comparados à EC.

Segundo Johns et al. (1996), sendo realizada dois anos antes da exploração, a prática do corte dos cipós pode reduzir a área afetada e o número de árvores danificadas em 30%. A mesma fonte ainda aponta que o direcionamento de queda e o desenho adequado de estradas de arraste diminuem a área afetada em 30% quando a operação de arraste é feita por trator skidder. Vidal et al. (1997) encontrou que, quando existe a prática do corte dos cipós, a queda de uma árvore danifica 19 árvores (DAP > 10 cm), enquanto que a queda de uma árvore conectada à rede de cipós pode danificar 59 árvores.

Estudos conduzidos por Vidal (2004), comparando as dinâmicas de uma floresta manejada com EIR com outra sob EC, encontrou que a EIR resultou em

efeitos positivos sobre o crescimento de espécies de valor comercial presentes nas clareiras, apresentando crescimentos entre 75% a 115% superiores às da EC, e apresentando taxas de mortalidade de árvores menores e de recrutamento maiores. Em suma, a área sob EIR apresentou crescimento 5,5 vezes superior à sob EC, além de reduzir o impacto negativo sobre a diversidade das espécies.

Não obstante, em sua modelagem sobre a recuperação dos volumes florestais, Valle et al. (2007) apontam, para a mesma área estudada por Vidal (2004), que embora seja superior para o tratamento sob EIR (sendo o tempo de recuperação estimado de 10 anos para o volume total e de 30 – 40 para o volume comercial) em relação ao tratamento sob EC (de 35 – 40 anos para o volume total e mais de 60 anos para o volume comercial), a EIR não necessariamente representa uma prática sustentável dentro dos ciclos de corte definidos pela legislação brasileira (BRASIL, 2009).

De forma semelhante, Mazzei et al. (2010), estudando a reposição da biomassa acima do solo em uma área explorada através do manejo florestal com EIR em Paragominas, entre 2004 – 2008, concluiu que, mesmo com o emprego de técnicas conservacionistas como as da EIR, para que 100% da biomassa acima do solo seja reposta em um período de rotação de 30 anos, faz-se necessário que a intensidade da colheita, de 6 árvores ha⁻¹, seja reduzida entre 40 – 50%.

Moura-Costa (1996), estudando as diversas práticas para sequestro de carbono em florestas tropicais, ilustrou a dinâmica esperada do sequestro de carbono em florestas manejadas através da EIR em função do tempo, comparada às florestas exploradas através da EC (Figura 6). Comportamento semelhante foi encontrado em trabalhos realizados por Putz et al. (2008).

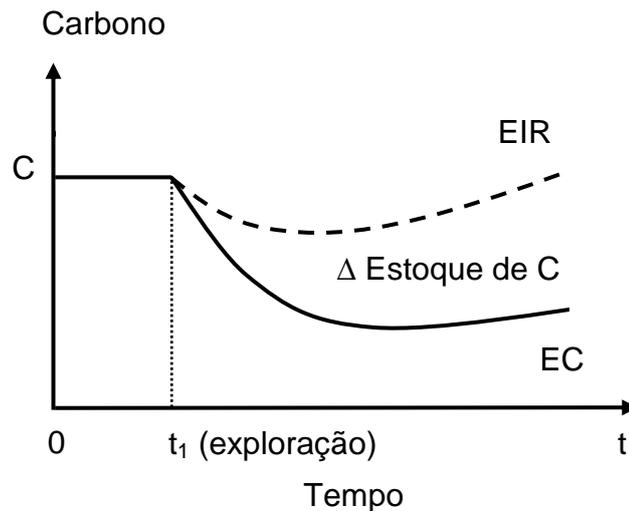


Figura 6 – Variação do estoque de carbono na floresta através da adoção de técnicas de EIR

Fonte: Adaptado de Moura-Costa (1996)

1.2.7.2 Impacto do manejo florestal nos estoques de carbono

As florestas tropicais são, principalmente, exploradas com a finalidade de obtenção de madeira para serraria. Com o aumento da demanda desse mercado e do acesso às florestas, a exploração madeireira tende a aumentar. Devido à alta diversidade de espécie e ao fato de que apenas algumas possuem valor comercial, usualmente, madeireiros extraem de 1 a 20 árvores por hectare. No entanto, para cada árvore extraída desse modo seletivo, cerca de 10 a 20 outras são severamente danificadas por trabalhadores destreinados e falta de mapas detalhados ou supervisão. Inúmeros estudos demonstram que uma colheita apropriada, planejando trilhas de arraste, junto com treinamento de trabalhadores sobre direcionamento de queda, pode evitar pelo menos 50% dos danos colaterais causados pela atividade (PUTZ et al., 2008).

A EIR foi utilizada em um projeto iniciado pela *New England Power Company* (EUA), a firma de corretagem ambiental *COPEC* (Los Angeles, EUA) e a companhia de silvicultura *Innoprise Corporasion*, (Malásia) (MARSH, 1992, 1993, 1995; PANAYOYOU et al., 1994 apud MOURA-COSTA, 1996). O objetivo do projeto era reduzir cerca de 50% o total dos danos causados aos indivíduos residuais através da adoção de guias de colheita madeireira adaptados do "Sistema de Exploração

Seletiva de Queensland"⁴⁴ (PUTZ; PINARD, 1993; PINARD, 1994 apud MOURA-COSTA, 1996). Com o fim da fase inicial do projeto, em 1995, estimativas apontaram para uma conservação de 35 Mg C ha⁻¹ durante os dois primeiros anos.

Pinard e Putz (1996), em um projeto piloto de créditos de carbono implantado em Sabah, Malásia, em 1992, envolvendo duas áreas exploradas, uma da forma convencional e outra através do MF- EIR, constataram que, um ano após a colheita, os níveis do carbono residual correspondiam a 44% e 67% dos níveis pré-colheita nas áreas, respectivamente, sendo 62% dessa diferença correspondente ao menor número de árvores mortas durante a colheita através da EIR e os outros 38% ao menor volume de galhos, tocos e madeira desperdiçada pela queda de árvores também devido à EIR. Cabe ressaltar que a mortalidade nas áreas tende ainda a diminuir os níveis dos estoques de carbono por alguns anos após a colheita. Ainda, como mais árvores grossas não foram danificadas com a EIR, espera-se, portanto, que as taxas de crescimento observadas nessa área não devam aumentar tanto quando na área explorada convencionalmente.

Através do emprego de um modelo sobre a dinâmica florestal, uma simulação realizada por Pinard e Cropper (2000), para as florestas primárias da Malásia, sugere que quando 20 – 50% dos indivíduos em pé são mortos durante a exploração madeireira, o favorecimento de crescimento de espécies pioneiras pode reduzir o potencial de estoque de carbono do sítio em 15 – 26% durante 40 – 60 anos.

Vianna (2011), analisando o impacto do manejo florestal comunitário no estoque de carbono vivo em duas áreas distintas na Amazônia, observou reduções de 6,78 Mg C ha⁻¹ (3%) e 15,95 Mg C ha⁻¹ (8,27%) para intensidades de exploração de 4,82 m³ ha⁻¹ e 10, 56 m³ ha⁻¹, respectivamente.

Em geral, as taxas de sequestro de carbono são maiores onde a área de abertura do dossel resultado da exploração madeireira é maior. No entanto, essa relação é inversa à quantidade de carbono estocado nas árvores residuais (ASNER, et al, 2009; KELLER et al., 2004). A Figura 7 ilustra a dinâmica do carbono em uma floresta pós-exploração madeireira convencional e pós-colheita através da EIR, em função de suas taxas de crescimento.

⁴⁴ Queensland Selective Logging System

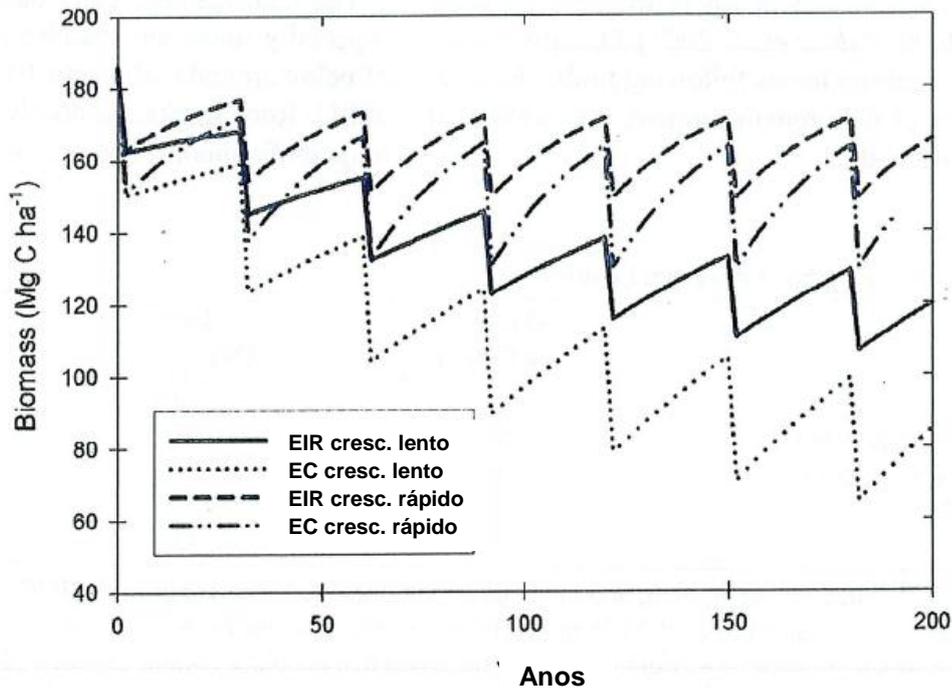


Figura 7 – Dinâmica do carbono pós-exploração EC e pós-colheita através da EIR, para diferentes taxa de crescimento

Fonte: Keller et al. (2004)

Sem as intervenções silviculturais necessárias, espécies de rápido crescimento com baixa densidade de carbono vão tender a substituir as espécies de crescimento lento com alta densidade, diminuindo dessa forma o estoque total de carbono da floresta (KELLER et al., 2004; ASNER et al., 2009). Em sua simulação, Keller et al. (2004) estimaram que a floresta Amazônica, sob um regime de EC, com ciclos de corte de 30 anos e uma exploração de $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, emitiria para a atmosfera mais de 10% da sua biomassa. Em 200 anos sob esse regime, essa perda seria de cerca de 30 Mg C ha^{-1} , mais do que 15% da biomassa intacta da floresta.

Segundo Putz et al. (2008), o emprego de melhorias no manejo florestal em florestas tropicais poderia representar uma redução de cerca de 10% das emissões de GEE oriundas do desmatamento anual dessas florestas, cerca de $0,16 \text{ Gt C ano}^{-1}$.

1.3 Material e Métodos

1.3.1 Área de estudo

A área do estudo localiza-se no município de Paragominas, nordeste do estado do Pará, entre as coordenadas 2° 25' e 4° 09' S e 46° 25' e 48° 54' W. O município é banhado pelas bacias do rio Capim e do rio Gurupi (VIDAL, 2004).

O relevo da região varia de plano a suavemente ondulado. Os solos são predominantemente do grupo dos Latossolos Amarelos; pobres e bem profundos, e sua textura varia de média a muito argilosa (RADAMBRASIL, 1974 apud VIDAL, 2004).

O clima da região é quente e úmido, caracterizado por um período com muita chuva, de janeiro a maio (1700 mm ano^{-1}) e um período com pouca chuva, de junho a novembro (JOHNS; BARRETO; UHL, 1996).

A área estudada, de 210 hectares, foi submetida a 3 formas de tratamentos diferentes: MF-EIR (105 ha); exploração convencional (75 ha); e área de controle (não-explorada, 30 ha). As explorações aconteceram em 1993, sendo realizados inventários florestais pré-exploração, em 1993, e pós-exploração, nos anos de 1994, 1995, 1996, 1998, 2000, 2003, 2006 e 2009, resultando em uma série longitudinal de dados de 16 anos, onde o diâmetro à altura do peito (DAP), o crescimento, a mortalidade e o recrutamento foram monitorados. Identificou-se também o nome vulgar e o nome científico de todas as espécies amostradas.

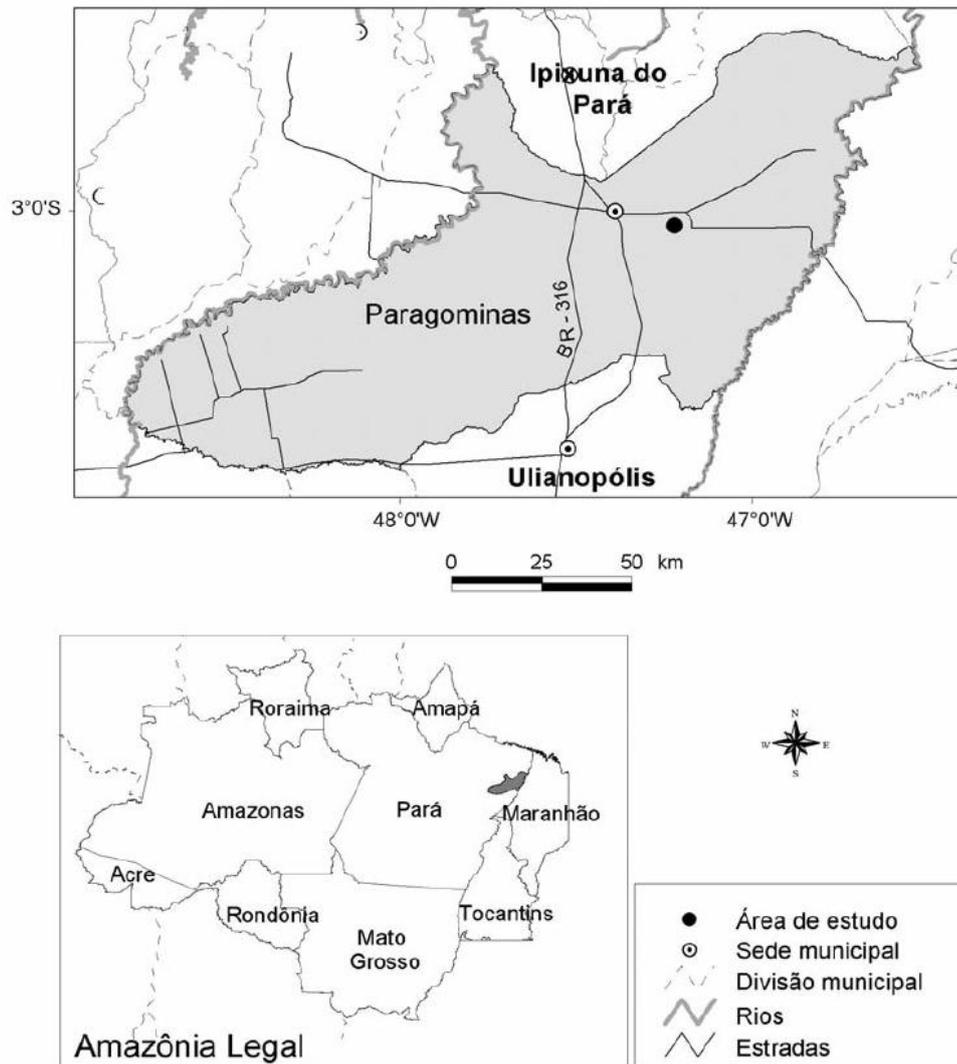


Figura 8 – Localização da área de estudo

Fonte: Vidal (2004)

Os dados coletados na área já foram objetos de inúmeros estudos científicos, sendo seus resultados bastante difundidos na literatura (VIDAL et al., 2002; VIDAL, 2004; VALLE et al., 2007; MACPHEARSON et al., 2010; 2011).

1.3.2 Coleta de dados

Em 1993, demarcaram-se três blocos aleatorizados de 24,5 ha (350 m x 700 m) em cada tratamento. Cada tratamento foi dividido em 14 linhas, distando 25 metros entre si, a partir das quais os indivíduos arbóreos amostrados foram referenciados em um eixo de coordenadas x e y.

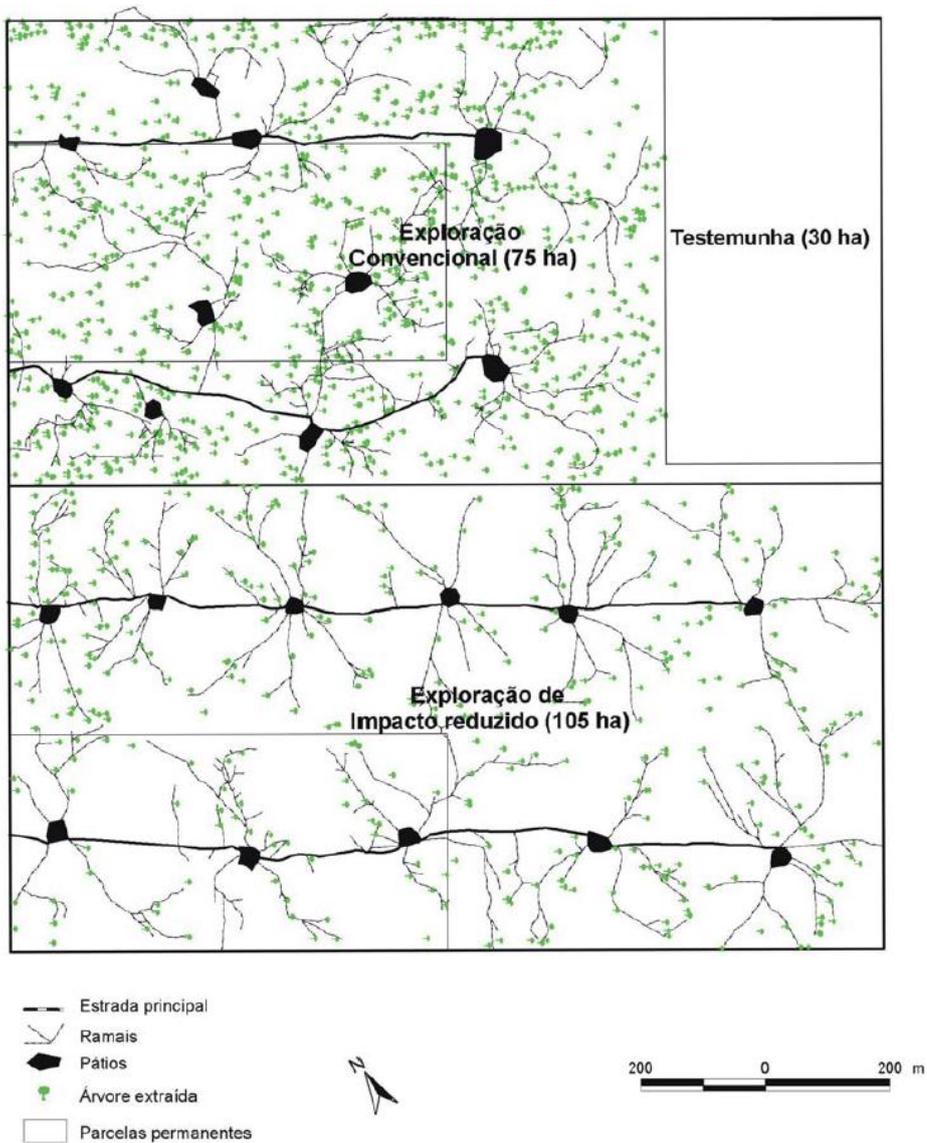


Figura 9 – Localização dos tratamentos na área de estudo

Fonte: Vidal (2004)

Ainda em 1993, com o intuito de analisar os efeitos da MF-EIR e da EC sobre a diversidade de espécies, antes da exploração, estabeleceu-se uma parcela de 5,25 ha (75 m x 700 m) em cada tratamento, delimitada pelas linhas 6, 7 e 8. Nessas parcelas todos os indivíduos arbóreos com DAP ≥ 10 cm foram amostrados, independentemente de apresentarem ou não valor madeireiro (grupo 1). No restante da área dos tratamentos, apenas os indivíduos arbóreos com valor madeireiro e com

DAP \geq 10 cm foram amostrados, os demais foram amostrados apenas quando apresentavam DAP \geq 25 cm (grupo 2).

Os demais capítulos desta dissertação discorrem sobre os passos adicionais dos materiais e métodos empregados a fim de se atingir os objetivos propostos de cada capítulo.

Referências

ALTMANN, A. O desenvolvimento sustentável e os serviços ambientais. In: RECH, U.; ALTMANN, A. **Pagamento por serviços ambientais: imperativos jurídicos e ecológicos para a preservação e restauração das matas ciliares**. Caixias do Sul: Educs, 2009. p. 168.

ARCHER, D.; EBY, M.; BROVING, V.; RIDGWELL, A.; CAO, L.; MIKOLAJEWICZ, U.; CALDEIRA, K.; MATSUMOTO, K.; MUNHOVEN, G.; MONTENEGRO, A.; TOKOS, K. Atmospheric lifetime of fossil fuel carbon dioxide. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**, Palo Alto, v. 37, p. 117-134, 2009.

ASNER, G.P.; KELLER, M. LENTINI, M.; FRANK, M.; SOUZA JR., C. Selective logging and its relation to deforestation. **Geophysical Monograph Series**, Washington, v. 186, p. 25-42, 2009.

BALBINOT, R.; SCHUMACHER, M.V.; WATZLAWICK, L.F.; SANQUETA, C.R. Inventário do carbono orgânico em um plantio de *Pinus taeda* aos 5 anos de idade no Rio Grande do Sul. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Guarapuava, v. 5, n. 1, p. 10, jan./jun. 2003.

BARRETO, P.; UHL, C.; JOHNS, J.C. **Os danos da exploração de madeira com e sem planejamento na Amazônia Oriental**. Belém: Imazon, 1998. 44 p.

BAYON, R.; HAWN, A.; HAMILTON, K. **Voluntary carbon markets: an international business guide to what they are and how they work (environmental markets insight)**. 2nd ed. London: Earthscan, 2009. 185 p.

BENSUSAN, N. **Seria melhor mandar ladrilhar? Biodiversidade como, para que, porque**. Brasília: UnB; Instituto Socioambiental, 2002. 420 p.

BOLTZ, F.; HOLMES, P.T.; CARTER, D.R. Economic and environmental impacts of conventional and reduced-impact logging in Tropical South America: a comparative review. **Forest Policy and Economics**, Kidlington, v. 5, p. 69-81, 2003.

BRASIL. **Emissões e remoções de dióxido de carbono por conversão de florestas e abandono de terras cultivadas**. Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2004. 89 p.

_____. Resolução nº 406, de 02 de fevereiro de 2009. Estabelece parâmetros técnicos a serem adotados na elaboração, apresentação, avaliação técnica e execução de Plano de Manejo Florestal Sustentável- PMFS com fins madeireiros, para florestas nativas e suas formas de sucessão no bioma Amazônia. **Diário Oficial**, Brasília, n. 26, p. 100, 06 fev. 2009.

CAMPOS, C.P. **A conservação das florestas no Brasil, mudança do clima e o mecanismo de desenvolvimento limpo do Protocolo de Quioto**. 2001. 181 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

CLIMATE COMMUNITY AND BIODIVERSITY ALLIANCE. **Climate, community & biodiversity project design standards**. 2nd ed. Arlington, 2008. 50 p.

DIAS-FILHO, M.B. **A fotossíntese e o aquecimento global**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. 24 p.

DIXON, R.K.; SOLOMON, A.M.; BROWN, S.; HOUGHTON, R.A.; TREXIER, M.C.; WISNIEWSKI, J. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. **Science**, Washington, v. 263, p. 185-190, Jan. 1994.

DOMINGOS, N.P. **O Protocolo de Kyoto: a União Européia na liderança do regime de mudanças climáticas**. 2007. 136 p. Dissertação (Mestrado em Relações Internacionais) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2007.

DYKSTRA, D.P. Reduced impact logging: concepts and issues. In: ENTERS, T.; DURST, P. B.; APPLGATE, G. B.; KHO, P. C. S.; MAN, G. **Applying reduced impact logging to advance sustainable forest management**. Bangkok: FAO, 2002. chap. 2, p. 23-39.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. **Inventory of U.S. greenhouse gas emissions and sinks: 1990 - 2007**. Washington, 2009. 394 p.

FAO. **Forest resources assessment 1990: tropical countries**. Rome, 1993. 116 p. (FAO. Forestry Paper, 112).

_____. **Global forest resources assessment 2000**. Rome, 2001. 479 p.

_____. **Global forest resources assessment 2005: progress towards sustainable forest management**. Rome, 2005. 320 p.

_____. **Sustainable management of forests and REDD+**: negotiations need clear terminology. Rome, 2010. 2 p.(FAO. Information Note, 2).

FEARNSIDE, P.M.; GUIMARÃES, W.M. Carbon uptake by secondary forests in Brazilian Amazonia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 80, p. 35-46, 1996.

- FELDPAUSCH, T.R.; RONDON, M.A.; FERNANDES, E.C.M.; RIHA, S.J.; WANDELLI, E. Carbon and nutrient accumulation in secondary forests regenerating on pastures in central Amazonia. **Ecological Applications**, Amsterdam, v. 14, p. 164-176, Aug. 2004.
- GOODALE, C.L.; APPS, M.J.; BRIDSEY, R.A.; FIELD, C.B.; HEATH, L.S.; HOUGHTON R.A.; JENKINS, J.C.; KOHLMAIER, G.H.; KRUZ, W.; LIU, S.; NABUURS, G.; NILSSON, S.; SHVIDENKO, A.Z. Forest carbon sinks in the Northern hemisphere. **Ecological Applications**, Ithaca, v. 12, p. 891-899, 2002.
- GORTE, R.W.; SHEIKH, P.A. **Deforestation and climate changes**. Washington: Congressional Research Service, 2010. 41p.
- GREIBER, T. **Payments for ecosystem services: legal and institutional frameworks**. Gland: IUCN, 2009. 295 p.
- GUO, Z.; FANG, J.; PAN, Y. BIRDSEY, R. Inventory-based estimates of forest biomass carbon stocks in China: a comparison of three methods. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, p. 1225-1231, 2010.
- HAGEMANN, M.; MOLTMANN, S.; HÖHNE, K.; PALENBERG, A. **Factors underpinning future action: simple country fact sheets**. Utrecht: Ecofys International BV, 2009. 86 p.
- HAMILTON, K.; SJARDIN, M.; SHAPIRO, A.; MARCELLO, T. **Fortifying the foundation: state of the voluntary carbon markets 2009**. New York: Ecosystem Marketplace & New Carbon Finance, 2009. 92 P.
- HOLMES, T.P.; BLATE, G.M.; ZWEEDE, J.C.; PEREIRA JUNIOR, R.; BARRETO, P.; BOLTZ, F.; BAUCH, R. Financial costs and benefits of reduced-impact logging relative to conventional logging in the Eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 163, p. 93-110. 2002.
- HOUGHTON, R.A.; LAWRENCE, K.T.; HACKLER, J.L.; BROWN, S. The spatial distribution of forest biomass in the Brazilian Amazon: a comparison of estimates. **Global Change Biology**, Hoboken, v. 7, p. 731-746, 2001.
- HOUSE OF COMMONS. **The voluntary carbon offset market - sixth report of session 2006–07: report**, together with formal minutes, oral and written evidence. London: Environmental Audit Committee; The Stationery Office Limited. 2007. 235 p.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **CO₂ emissions from fuel combustion highlights**. Paris: OECD/IEA, 2009. 124 p.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 1995: the science of climate change. Summary for Policymakers and Technical Summary of the Working Group I Report. Second Assessment Report**. Rome, 1996. 584 p.
- _____. **Climate Change 2001: the scientific basis**. Cambridge, 2001. 83 p.

_____. **Good practice guidance for land use, land-use change and forestry.** Hayama: Institute for Global Environmental Strategies for the IPCC, 2003. 632 p.

_____. Agriculture, forestry and other land use. In: EGGLESTON, H.S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. **IPCC 2006 guidelines for national greenhouse gas inventories:** prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Hayama: Institute for Global Environmental Strategies for the IPCC, 2006a. v. 4, p. 1.1-12.33.

_____. Forest land. In: EGGLESTON, H.S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. **IPCC 2006 guidelines for national greenhouse gas inventories:** prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Hayama: Institute for Global Environmental Strategies for the IPCC, 2006b. v. 4, chap. 4, p. 4.4-4.83.

_____. **Climate Change 2007: impacts, adaptation and vulnerability.** Brussels, 2007a. 976 p.

_____. **Climate Changes 2007: the physical science basis, summary for policymakers.** Paris, 2007b. 21 p.

INTERNATIONAL PETROLEUM INDUSTRY ENVIRONMENTAL CONSERVATION ASSOCIATION. **Climate Change: a glossary of terms.** 4th ed. London, 2007. 82 p.

JACOBI, P. Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade. **Cadernos de Pesquisa**, São Paulo, n. 118, p. 189-205, 2003.

JONHS, J.; BARRETO, P.; UHL, C. Logging damage in planned and unplanned logging operation and its implications for sustainable timber production in the eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 89, p. 59-77, 1996.

KELLER, M.; ASNER, G.P.; SILVA, N.; PALACE, M. Sustainability of selective logging of upland forests in the Brazilian Amazon: carbon budgets and remote sensing as tools for evaluation of logging effects. In: ZARIN, D.E.A. **Working forests in the tropics: conservation through sustainable management?** New York: Columbia University Press, 2004. p. 41-63.

KOLLMUSS, A.; LAZARUS, M.; LEE, C.; LEFRANC, M.; POLYCARP, C. **Handbook of carbon offset programs: trading systems, funds, protocols and standards.** London: Earthscan, 2010. 256 p.

KOSSY, A.; AMBROSI, P. **State and trends of the carbon market 2010.** Washington: Carbon Finance at the World Bank, 2010. 78p.

KRUG, T. **Modalidades e procedimentos para atividades de projeto de florestamento e reflorestamento no mecanismo de desenvolvimento limpo: uma síntese.** São José dos Campos: INPE; Instituto Interamericano para Pesquisa em Mudanças Globais. Propostas Metodológicas para Projetos de Sequestro de Carbono por Florestas Nativas, promovido pela Secretaria do Meio Ambiente do Estado - SMA, Consulado-Geral dos Estados Unidos e CENBIO-USP, 2005. 19 p.

LAMBIM, E.F.; HELMUT, G. J. **What drives tropical deforestation?** Louvain: LUC International Project Office, 2001. 118 p.

LOPEZ, P. **Review of forestry carbon standards:** development of a tool for organizations to identify the most appropriate forestry carbon credit. 2009. 114 p. Thesis (Master of Science) - Imperial College London, London, 2009.

MACPHERSON, A.J.; SCHULZE, M.D.; CARTER, D.R.; VIDAL, E. A model for comparing reduced impact logging with conventional logging for an Eastern Amazonian forest. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 260, p. 2002-2011, 2010.

MACPHERSON, A.J.; CARTER, D.R.; SCHULZE, M.D.; VIDAL, E.; LENTINI, M.W. The sustainability of timber production from eastern Amazonian forests. **Natural Resource Modeling**, Hoboken, 2011. In press.

MÄKIPÄÄ, R.; LEHTONEN, A.; PELTONIEMI, M. Monitoring carbon stock changes in European forests using forest inventory data. In: DOLMAN, A.J.; FREIBAUER, A.; VALENTINI, R. **The continental-scale greenhouse gas balance of Europe**. New York: Springer, 2008. v. 203, chap. 10, p. 191-214.

MARKIT ENVIRONMENTAL REGISTRY. **Beginners' guide to the voluntary carbon market**. London, 2009. 9 p.

MAZZEI, L.; SIST, P.; RUSCHEL, A.R.; PUTZ, F.E.; MARCO, P.; PENA, W.; RIBEIRO FERREIRA, J.E. Above-ground biomass dynamics after reduced-impact logging in the Eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, n. 3, p. 367-373, 2010.

MEDJIBE, V.P.; PUTZ, F.E.; STARKEY, M.P.; NDOUNA, A.A.; MEMIAGHE, H.R. Impacts of selective logging on above-ground forest biomass in the Monts de Cristal in Gabon. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, 2011. In press.

MERGER, E. **Forestry carbon standards 2008:** a comparison of the leading standards in the voluntary. London: Carbon Positive, 2008. 72 p.

_____. **The role of forest carbon standards in the over-the-counter voluntary carbon market: analysis on the economic efficiency and organizational legitimacy of forest carbon standards certifying afforestation/reforestation carbon projects**. 2010. 130 p. Thesis (PhD. in Forestry Science) - Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg, 2010.

MOURA-COSTA, P. Tropical forestry practices for carbon sequestration. In: SCHULTE, A.; SCHÖNE, D.H. **Dipterocarp forest ecosystems:** towards sustainable management. Singapore: World Scientific, 1996. chap. 3, p. 308-334.

NASI, R.; PUTZ, F. E.; PACHECO, P.; WUNDER, S.; ANTA, S. Sustainable forest management and carbon in tropical Latin America: the case for REDD+. **Forests**, Basel, n. 2, p. 200-217, 2011.

NEFF, T.; LUEPKE, H.V.; SCHOENE, D. **Choosing a forest definition for the clean development mechanism**. Rome: FAO, 2006. 18 p.

NISHI, M.H. **O MDL e o atendimento aos critérios de elegibilidade e indicadores de sustentabilidade por diferentes atividades florestais**. 2003. 80 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de Viçosa, Viçosa, 2003.

PARKER, C.; MITCHELL, A.; TRIVEDI, M.; MARDAS, N. **The Little REDD+ Book**. Oxford: Global Canopy Programme; John Krebs Field Station, 2009. 133 p.

PINARD, M.A.; CROPPER, W.P. Simulated effects of logging on carbon storage in dipterocarp forest. **Journal of Applied Ecology**, Amsterdam, v. 37, p. 267-283, 2000.

PINARD, M.A.; PUTZ, F.E. Retaining forest biomass by reducing logging damage. **Biotropica**, Hoboken, v. 28, n. 3, p. 278-295, 1996.

PLAN VIVO. **Plan Vivo standard**. Edinburgh, 2008. 47 p.

POTTER, C.; KLOOSTER, S.; MYNENI, R.; GENOVESE, V.; TAN, P.; KUMAR, V. Continental-scale comparisons of terrestrial carbon sinks estimated from satellite data and ecosystem modeling 1982–1998. **Global Planetary Change**, Amsterdam, v. 39, p. 201-213, 2003.

PUTZ, F.E.; ZULDEMA, P.A.; PINARD, M.A.; BOOT, R.G.A.; SAYER, J.A.; SHEIL, D.; SIST, P.; ELLAS; VANCLAY, J.K. Improved tropical forest management for carbon retention. **Plos Biology**, San Francisco, v. 6, p. 1368-1370, 2008.

PUTZ, F.E.; SYNNOTT, T.; PEÑA-CLAROS, M.; PINARD, M.; SHEIL, D.; VANCLAY, J.; SIST, P.; GOURLET-FLEURY, S.; GRISCOM, B.; PALMER, J.; ZAGT, R.; ZUIDEMA, P. Sustaining tropical forests with forestry. **PLoS Biology**. San Francisco, 2011. In press.

RAVINDRANATH, N.H.; OSTWALD, M. Carbon inventory methods handbook for greenhouse gas inventory, carbon mitigation and round wood production projects. **Advances in Global Change Research**, Berlin, v. 29, 1-308 p., 2008.

ROCHA, M.T. **Aquecimento global e o mercado de carbono: uma aplicação do modelo CERT**. 2004. 196 p. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2004.

SAATCHI, S.S.; HOUGHTON, R.A.; DOS SANTOS ALVALA, R.C.; SOARES, J.V.; YU. Y. Distribution of aboveground live biomass in the Amazon basin. **Global Change Biology**, Hoboken, v.13 p.816-837, 2007.

SIST, P.; DYKSTRA, D.; FIMBEL, R. **Reduced impact logging guidelines for lowland and hill dipterocarp forests in Indonesia**. Bogor: Center for International Forestry Research, 1998. 6p.

TAIYAB, N. **Exploring the market for voluntary carbon offsets**. London: International Institute for Environment and Development, 2006. 36 p.

THOMPSON, I.; MACKEY, B.; MOSSELER, A. **Forest resilience, biodiversity, and climate change: a synthesis of the biodiversity/resilience/stability relationship in forest ecosystems**. Montreal: Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2009. 67 p.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **Kyoto protocol**. Kyoto, 1998. 20 p.

_____. **Caring for climate: a guide to the Climate Change Convention and the Kyoto Protocol**. Bonn, 2003. 27 p.

_____. **Decision -/CP.13: Bali action plan**. Bali, 2010. 5 p.

UNITED NATIONS COLLABORATIVE PROGRAMME ON REDUCING EMISSIONS FROM DEFORESTATION AND FOREST DEGRADATION IN DEVELOPING COUNTRIES. **Perspectives on REDD+**. Geneva, 2010. 9 p.

VALLE, D.; PHILLIPS, P.; VIDAL, E.; SCHULZE, M.; GROGAN, J.; SALES, M.; GARDINGEN, P.V. Adaptation of a spatially explicit individual tree-based growth and yield model and long-term comparison between reduced-impact and conventional logging in eastern Amazonia, Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 243, p. 187-198, 2007.

VAN DER WERF, G.R.; MORTON, D.C.; DEFRIES, R.S.; OLIVIER, J.G.J.; KASIBHATLE, P.S.; JACKSON, R.B.; COLLATZ, G.J.; RANDERSON, J.T. CO₂ emissions from forest loss. **Nature Geosciences**, London, v. 2, p. 737-738, 2009.

VCS ASSOCIATION. **Guidance for agriculture, forestry and other land use projects**. Washington, 2008a. 44 p.

_____. **Voluntary carbon standard program guidelines**. Washington, 2008b. 12 p.

_____. **VCS program guide: version 3.0**. Washington, 2011a. 21 p.

_____. **Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU) requirements: requirements document; version 3.0**. Washington, 2011b. 46 p.

VIANNA, A.L.M. **Impacto do manejo florestal comunitário no estoque de carbono da vegetação da reserva de desenvolvimento sustentável do Uatumã, AM**. 2011. 34 p. Dissertação (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2011.

VIDAL, E. **Dinâmica de florestas manejadas e sob exploração convencional na Amazônia oriental**. 2004. 171 p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia

Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

VIDAL, E.; VIANA, M.; FERREIRA, J.B. Crescimento de floresta tropical três anos após colheita de madeira com e sem manejo florestal na Amazônia oriental. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 61, p. 133-143, 2002.

VIDAL, E.; JOHNS, J.; GERWING, J.J.; BARRETO, P.; ULH, C. Vine management for reduced-impact logging in the eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 98, p. 105-114, 1997.

WADSWORTH, F.H. **Forest production for tropical America**. Washington: USDA Forest Service, 1997. 563 p. (Agriculture Handbook, 710).

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT - WBCSD. **Tackling climate changes on the ground: corporate case studies on land use and Climate change**. Conches-Genova, 2009. 28 p.

WILLIAMS, M. **Deforesting the earth: from prehistory to global crisis, an abridgment**. Chicago; London: The University of Chicago Press, 2006. 561 p.
WINJUM, J.K.; SCHROEDER, P.E. Forest plantations of the world: their extent, ecological attributes and carbon storage. **Agriculture and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 84, p. 153-167, 1997.

WOODBURY, P.B.; SMITH, J.E.; HEATH, L.S. Carbon sequestration in the U.S. forest sector from 1990 to 2010. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 241, p. 14-27, 2007.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. **Our common future (Brundtland Report)**. Oslo, 1987. 17 p.

WUNDER, S. **Payments for environmental services: some nuts and bolts**. Bogor: Center for International Forestry Research, 2005. 24 p. (Occasional Paper, 42).

_____. The efficiency of payments for environmental services in tropical conservation. **Conservation Biology**, Hoboken, v. 21, n. 1, p. 48-58, 2006.

2 METODOLOGIA PARA PROJETOS DE CRÉDITO DE CARBONO ENVOLVENDO A CONVERSÃO DA EXPLORAÇÃO MADEIREIRA CONVENCIONAL PARA O MANEJO FLORESTAL COM EXPLORAÇÃO DE IMPACTO REDUZIDO

Resumo

As crescentes preocupações com a mitigação das mudanças do clima levaram à criação de mecanismos de mercado que recompensassem financeiramente ações adicionais de remoção de gases do efeito estufa (GEE) da atmosfera através de projetos voltados ao mercado de carbono. Embora, no âmbito do Protocolo de Kyoto, apenas atividades florestais de florestamento e reflorestamento sejam consideradas elegíveis, a maturação do mercado voluntário de carbono levou regimes de mercado como o *Verified Carbon Standard* (VCS) a aceitarem, entre outras, atividades de projeto envolvendo a melhoria do manejo florestal, incluindo a conversão da exploração madeireira convencional (EC) para o manejo florestal com exploração de impacto reduzido (MF-EIR), atividade esta que, muito provavelmente, estará inclusa no escopo de um futuro programa florestal de mitigação das mudanças do clima, o REDD+ (redução de emissões do desmatamento e degradação florestal mais os benefícios do sequestro de carbono através de melhorias do manejo florestal). Em conformidade com as atuais regras do VCS e ferramentas para projetos de carbono do VCS e da UNFCCC, desenvolveu-se uma metodologia para projetos florestais de crédito de carbono envolvendo a conversão da EC para o MF-EIR. A metodologia se apresentou funcional e nenhum fator foi identificado como de impedimento para sua aprovação no âmbito do VCS. Todavia, a estimativa da linha de base da metodologia depende de dados e/ou modelos sobre a regeneração florestal explorada através da EC, ainda escassos na literatura. Destaca-se que incluir o reservatório de matéria morta em atividades de projetos de carbono envolvendo a conversão da EC para o MF-EIR contradiz os conceitos de pagamento por serviços ambientais, uma vez que passa-se a atribuir a mesma importância do carbono no reservatório de carbono da biomassa viva e para o carbono no reservatório da matéria morta.

Palavras-chave: Crédito de carbono; Melhoria do manejo florestal; VCS; REDD+; Mitigação das mudanças do clima; Metodologia de carbono, Exploração convencional, Exploração de Impacto Reduzido

Abstract

Growing concerns over global climate change led to the development of market mechanisms that financially compensate additional retention or sequestration of greenhouse gases (GHGs). While under the Kyoto Protocol only forest activities related to afforestation and reforestation are eligible for compensation, maturation of voluntary carbon markets led to schemes such as the Verified Carbon Standard (VCS) to accept other sorts of forest-based offsets, such as the conversion from

conventional logging (CL) to reduced-impact logging (RIL). It is anticipated that this sort of activity will also be included in the scope of the future REDD+ program (reduced emissions from deforestation and forest degradation plus the carbon sequestration benefits of improved forest management). In accordance with the VCS current rules and VCS and UNFCCC tools for carbon projects, a methodology for forest carbon projects involving the conversion from CL to RIL was developed. The methodology proved to be functional and no barriers were identified that could compromise its approval under the VCS. However, the baseline estimation depends on data and/or models regarding the forest regeneration after CL, still scarce in the literature. It is noteworthy that accounting for the dead wood pool in carbon projects activities involving the conversion from CL to RIL contradicts the concept of payment for environmental services, as it assigns the same importance for carbon in the living biomass pool and in the dead wood pool.

Keywords: Carbon offsets; Improved forest management; VCS; REDD+; Climate change mitigation; Carbon methodology, Conventional logging, Reduced Impact Logging

2.1 Introdução

Diversos autores defendem a ideia de que o emprego do manejo florestal com exploração de impacto reduzido (MF-EIR) implica em benefícios ao clima, quando comparado à exploração madeireira convencional (EC) (MOURA-COSTA, 1996; KELLER et al., 2004; WUNDER, 2005; 2006; PUTZ et al., 2008, 2011; MAZZEI et al., 2010; MEDJIBE et al., 2011; NASI et al., 2011).

Embora esse tipo de atividade não seja elegível para projetos de carbono no âmbito do MDL, paralelamente às negociações dos encontros oficiais das Nações Unidas, surgiram, no mercado voluntário de carbono, regimes como o *Verified Carbon Standard* (VCS), onde atividades florestais de melhorias do manejo florestal (IFM⁴⁵, sigla em inglês), envolvendo a conversão da EC para o MF-EIR, se tornaram elegíveis, desde que baseadas nas regras estabelecidas pelos regimes e em metodologias previamente aprovadas (VCS, 2008a, 2011a; HAMILTON et al., 2009; LOPEZ, 2009; MERGER, 2010).

Ainda, muitos autores discutem a inclusão desse tipo de atividade em um futuro regime REDD+ e, caso tal regime seja de fato estruturado, certamente o MF-EIR estará presente como estratégia fundamental na mitigação das mudanças do clima (WUNDER, 2005; 2006; PUTZ et al., 2008, 2011; MAZZEI et al. 2010; KOSSY;

⁴⁵ Improved Forest Management

AMBROSI, 2010; PFAFF et al., 2010; UN-REDD, 2010; NASI et al., 2011; MEDJIBE et al., 2011).

Entretanto, para que tal tipo de atividade de projeto de carbono seja implementada, faz-se necessário o desenvolvimento de uma metodologia adequada de quantificação da linha de base e monitoramento dos estoques de carbono (UNFCCC, 2010b), até então inexistente.

O objetivo deste capítulo é desenvolver uma metodologia para projetos de crédito de carbono envolvendo a conversão da EC para o MF-EIR, em conformidade com as regras definidas pelo VCS, de modo que a metodologia em questão possa ser aprovada e utilizada na implementação de projetos florestais de carbono.

2.2 Revisão Bibliográfica

2.2.1 Metodologias para projetos florestais de carbono

Os projetos de carbono requerem a aplicação de uma metodologia de linha de base e monitoramento para determinar o volume gerado de créditos de carbono. Em geral, para que a metodologia possa ser utilizada, ela deve passar pelo processo de aprovação no padrão regulador do mercado de carbono onde o projeto será desenvolvido, como, por exemplo, no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) ou no VCS, entre outros.

Cada metodologia apresenta informações sobre o tipo de atividade do projeto, tipos de estratégia de mitigação dos gases do efeito estufa (GEE), condições de aplicabilidade da metodologia, parâmetros-chaves que precisam ser monitorados e a descrição dos cenários da linha de base e do projeto (UNFCCC, 2010b).

Atualmente, existem 20 metodologias florestais envolvendo atividades de florestamento e reflorestamento (A/R⁴⁶, sigla em inglês) aprovadas pela Comissão Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC⁴⁷, sigla em inglês), sendo 13 delas de larga escala e 7 de pequena escala⁴⁸ (Tabela 10).

⁴⁶ Afforestation and Reforestation

⁴⁷ United Nations Convention on Climate Change

⁴⁸ Elegíveis para projetos que removam ao longo de seu período de crédito uma média líquida de GEE inferior a 16.000 t CO₂-e ano⁻¹

Tabela 10 – Metodologias florestais A/R aprovadas pela UNFCCC

(continua)

Metodologias A/R do MDL aprovadas de grande escala

| Número | Título e versão atual |
|---------------|--|
| AR-AM0002 | "Restoration of degraded lands through afforestation/reforestation" v.3.0 |
| AR-AM0004 | "Reforestation or afforestation of land currently under agricultural use" v.4.0 |
| AR-AM0005 | "Afforestation and reforestation project activities implemented for industrial and/or commercial uses" v.4.0 |
| AR-AM0006 | "Afforestation/Reforestation with Trees Supported by Shrubs on Degraded Land" v.3.1.1 |
| AR-AM0007 | "Afforestation and Reforestation of Land Currently Under Agricultural or Pastoral Use" v.5.0 |
| AR-AM0009 | "Afforestation or reforestation on degraded land allowing for silvopastoral activities" v.4.0 |
| AR-AM0010 | "Afforestation and reforestation project activities implemented on unmanaged grassland in reserve/protected areas" v.4.0 |
| AR-AM0011 | "Afforestation and reforestation of land subject to polyculture farming" v.1.0.1 |
| AR-AM0012 | "Afforestation or reforestation of degraded or abandoned agricultural lands" v.1.0.1 |
| AR-AM0013 | "Afforestation and reforestation of lands other than wetlands --- Versão" 1.0.0 |
| AR-AM0014 | "Afforestation and reforestation of degraded mangrove habitats" v.1.0.0 |

Tabela 10 – Metodologias florestais A/R aprovadas pela UNFCCC (conclusão)

Metodologias aprovadas consolidadas de grande escala

Número Título e versão atual

AR-ACM0001 "Afforestation and reforestation of degraded land" v.5.1.1

AR-ACM0002 "Afforestation or reforestation of degraded land without displacement of pre-project activities" v.1.0

Metodologias A/R do MDL aprovadas de pequena escala

Número Título e versão atual

AR-AMS0001 "Simplified baseline and monitoring methodologies for small-scale A/R CDM project activities implemented on grasslands or croplands with limited displacement of pre-project activities" v.6.0

AR-AMS0002 "Simplified baseline and monitoring methodologies for small-scale afforestation and reforestation project activities under the CDM implemented on settlements" v.2.0

AR-AMS0003 "Simplified baseline and monitoring methodology for small scale CDM afforestation and reforestation project activities implemented on wetlands" v.1.0

AR-AMS0004 "Simplified baseline and monitoring methodology for small-scale agroforestry - afforestation and reforestation project activities under the clean development mechanism" v.2.0

AR-AMS0005 "Simplified baseline and monitoring methodology for small-scale afforestation and reforestation project activities under the clean development mechanism implemented on lands having low inherent potential to support living biomass" v.2.0

AR-AMS0006 "Simplified baseline and monitoring methodology for small-scale silvopastoral - afforestation and reforestation project activities under the clean development mechanism" v.1.0

AR-AMS0007 "Simplified baseline and monitoring methodology for small-scale A/R CDM project activities implemented on grasslands or croplands" v.1.1

As metodologias e as ferramentas as quais elas se referenciam estão disponíveis em <<http://cdm.unfccc.int/methodologies/index.html>>.

Em geral, todos os padrões do mercado voluntário de carbono aceitam as metodologias aprovadas pela UNFCCC para o desenvolvimento de seus projetos, porém não se limitam a elas. Assim como apresentado no capítulo anterior, o VCS aprova metodologias desenvolvidas especificamente para seu padrão, envolvendo outros tipos de atividades florestais além das de A/R (por exemplo, as de desmatamento evitado).

Em suma, o processo de aprovação de uma metodologia no VCS funciona conforme a Figura 10:

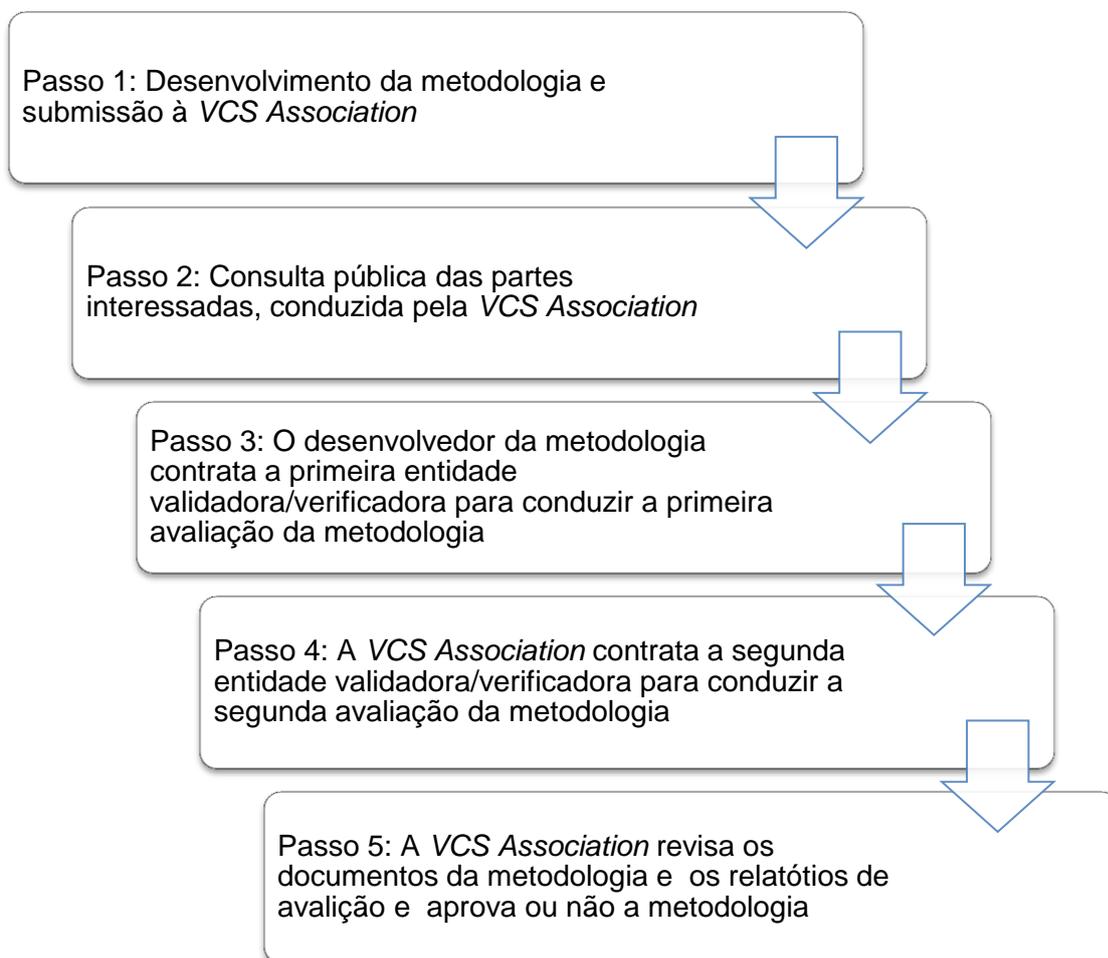


Figura 10 – Processo de aprovação de metodologias no VCS

Fonte: Adaptado de VCS (2011b)

Atualmente existem 10 metodologias florestais aprovadas pelo VCS (além das 20 metodologias aprovadas pela UNFCCC), sendo 7 envolvendo atividades de projeto de REDD⁴⁹ e 3 de IFM⁵⁰ (Tabela 11).

Tabela 11 – Metodologias florestais aprovadas pela VCS Association

| Metodologias de REDD aprovadas para o VCS | |
|--|---|
| Número | Título e versão atual |
| VM0004 | "Methodology for Conservation Projects that Avoid Planned Land Use Conversion in Peat Swamp Forests" v.1.0 |
| VM0006 | "Methodology for Carbon Accounting in Project Activities that Reduce Emissions from Mosaic Deforestation and Degradation" v.1.0 |
| VM0007 | "REDD Methodology Modules (REDD-MF)" v.1.0 |
| VM0009 | "Methodology for Avoided Mosaic Deforestation of Tropical Forests" v.1.0 |
| VM0010 | "Methodology for Improved Forest Management: Conversion from Logged to Protected Forest" v.1.0 |
| VM0011 | "Methodology for Calculating GHG Benefits from Preventing Planned Degradation" v.1.0 |
| VM0015 | "Methodology for Avoided Unplanned Deforestation" v.1.0 |
| Metodologias de IFM aprovadas | |
| Número | Título e versão atual |
| VM0003 | "Methodology for Improved Forest Management through Extension of Rotation Age" v.1.0 |
| VM0005 | "Methodology for Conversion of Low-productive Forest to High-productive Forest" v.1.0 |
| VM0012 | "Improved Forest Management on Privately Owned Properties in Temperate and Boreal Forests (LtPF)" v.1.0 |

As metodologias e as ferramentas as quais elas se referenciam estão disponíveis em <<http://www.v-c-s.org/methodologies/find>>.

⁴⁹ Reduced Emissions from Deforestation and Degradation

⁵⁰ Improved Forest Management

2.2.2 Conceitos envolvidos em projetos florestais de carbono

Embora existam algumas peculiaridades para projetos florestais no âmbito de cada regime do mercado de carbono, em geral, os conceitos envolvidos são muito semelhantes e baseiam-se nos conceitos definidos pelo MDL. Portanto, essa seção abordará em especial os conceitos do MDL e peculiaridades do VCS.

2.2.2.1 Elegibilidade da área do projeto

O conceito de elegibilidade diz respeito às áreas florestais passíveis de desenvolvimento de projetos de carbono. Muitos padrões do mercado voluntário de carbono baseiam-se no conceito de elegibilidade das atividades de (i) florestamento e (ii) reflorestamento no âmbito do MDL, definidas pelo Protocolo de Kyoto (1998), onde:

- i. Florestamento: é a conversão diretamente induzida pelo homem de terreno que não foi floresta por um período de pelo menos 50 anos para floresta, através da plantação, semeadura, ou promoção induzida pelo homem de fontes naturais de sementes (NEFF; LUEPKE; SCHOENE, 2006).
- ii. Reflorestamento: é a conversão diretamente induzida pelo homem de terreno não florestal para terreno florestal através da plantação, semeadura, ou promoção induzida pelo homem de fontes naturais de sementes, em terreno que foi florestal, mas que foi convertido para terreno não-florestal. Para o primeiro período de compromisso, as atividades de reflorestamento se limitarão a reflorestamentos em terrenos que não continham floresta em 31 de dezembro de 1989 (NEFF; LUEPKE; SCHOENE, 2006).

É comum que cada padrão do mercado voluntário altere seus conceitos de elegibilidade das áreas para projetos florestais. O VCS (2011a), por exemplo, apresenta as seguintes definições de elegibilidade (Tabela 12):

Tabela 12 – Condições para elegibilidade da área de projetos no VCS

| Atividade | Elegibilidade da área do projeto |
|-------------------|--|
| ARR ⁵¹ | O desmatamento ou degradação do ecossistema natural da área do projeto não deve ter ocorrido em um intervalo de tempo de 10 anos anteriores ao início do projeto |
| REDD | A área do projeto deve atender uma definição internacional aceita de floresta, como a da UNFCCC ou da FAO, e deve ser classificada como floresta por no mínimo 10 anos antes do início do projeto. |
| IFM | Não há critérios para elegibilidade |

Fonte: Adaptado de VCS (2011a)

As áreas destinadas ao desenvolvimento de projetos florestais de carbono que não se adéquem as definições do padrão onde o projeto será desenvolvido são consideradas não-elegíveis e, portanto, não há possibilidade de implementação dos projetos.

2.2.2.2 Linha de base

A linha de base ou "cenário da linha de base" para atividades de projetos A/R no âmbito do MDL é definida como:

A linha de base para uma atividade proposta de florestamento ou reflorestamento sob o MDL é o cenário que razoavelmente representa a soma das alterações nos estoques de carbono dos reservatórios de carbono dentro dos limites do projeto que ocorreria na ausência da atividade de projeto proposta (5/CMP.1, Anexo, parágrafo 19).

Portanto, a linha de base de uma atividade de projeto no âmbito do MDL é um cenário referencial hipotético, representando o volume de GEE que seria sequestrado se a atividade do projeto não fosse implementada. Ela deve ser estimada através de uma metodologia acurada e aprovada pelo Comitê Executivo do MDL (5/CMP.1, Anexo, parágrafos 12 e 13).

⁵¹ Afforestation, Reforestation and Revegetation

A linha de base pode ser estabelecida *ex ante* ou *ex post*, com medições *in situ* ou *ex situ* (linha de base monitorada) dependendo da metodologia utilizada.

Uma vez estabelecida a linha de base, ela é utilizada para determinar se o projeto possui ou não adicionalidade e se implica em um impacto positivo para mitigação das mudanças do clima.

O mesmo raciocínio é utilizado para o estabelecimento da linha de base em projetos voltados aos demais padrões do mercado de carbono e às atividades de projeto de REDD e IFM.

No entanto, a linha de base para projetos baseados em atividades de REDD e IFM, segundo o VCS (2011a), deve ser reavaliada necessariamente a cada 10 anos, durante a duração do projeto, e ser validada no mesmo momento em que ocorrer a verificação⁵² subsequente. A reavaliação visa capturar alterações nos agentes do desmatamento, seus comportamentos e seus impactos nos reservatórios de carbono dos projetos. Assim sendo, para esses tipos de atividade de projeto, as projeções *ex ante* da linha de base não precisam ser superiores a um período de 10 anos.

2.2.2.3 Adicionalidade

A adicionalidade de um projeto A/R de carbono no âmbito do MDL é definida como:

Uma atividade de projeto de A/R no âmbito do MDL é adicional se a soma das remoções de GEE pelos reservatórios de carbono do projeto for superior a soma das alterações que ocorreriam nos estoques de carbono da área do projeto caso o projeto de A/R não fosse implementado (5/CMP.1, Anexo, parágrafo 18).

Um projeto que apresente adicionalidade significa um projeto que representa um estoque de carbono na área do projeto superior ao da linha de base.

A adicionalidade é a condição principal para elegibilidade de projetos de carbono. Para sua demonstração, a UNFCCC desenvolveu a ferramenta "Combined tool to identify the baseline scenario and demonstrate addicionality in A/R CDM project activities" (UNFCCC, 2007b), que deve ser utilizada durante a concepção dos projetos de A/R no âmbito do MDL e, em geral, dos padrões do mercado voluntário de carbono.

⁵² Ver seção 2.2.2.10 deste capítulo.

Todavia, alguns regimes do mercado voluntário, como é o caso do VCS, desenvolveram ferramentas próprias, envolvendo outras atividades de projeto e mais adequadas as suas próprias regras, como a ferramenta "Tool for the Demonstration and Assessment of Additionality in VCS Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU) Project Activities" (VCS, 2010a) e a "Tool for the Demonstration and Assessment of Additionality in IFM Project Activities" (VCS, 2010b), ambas muito similares a ferramenta desenvolvida pela UNFCCC.

Os passos a serem seguidos pelo emprego dessas ferramentas são apresentados no Anexo 6.1 deste capítulo, sendo adaptados à atividade de projeto proposta por esta dissertação.

2.2.2.4 Estoques de carbono

O IPCC (2003) apresenta duas abordagens metodológicas distintas para estimar o carbono em seus reservatórios. A primeira delas estima os estoques de carbono baseada nas taxas de ganho e perda de carbono para uma determinada área, conforme a seguinte equação⁵³:

$$\Delta C = \sum_{ijk} [A_{ijk} * (C_G - C_P)_{ijk}] \quad (2.1)$$

Onde:

ΔC Mudança no estoque de carbono do reservatório, tonelada C ano⁻¹,

A Área, ha

ijk Tipo de clima i , floresta j , manejo k , etc...

C_G Taxa de ganho de carbono, Mg C ha⁻¹ ano⁻¹

C_P Taxa de perda de carbono, Mg C ha⁻¹ ano⁻¹

A abordagem alternativa, onde os estoques de carbono são medidos em dois pontos no tempo, a fim de se estimar as mudanças nos estoques, segue a seguinte equação⁵⁴:

$$\Delta C = \sum_{ijk} (C_{t_2} - C_{t_1}) / (t_2 - t_1)_{ijk} \quad (2.2)$$

⁵³ Equação 3.1.1 IPCC GLG LULUCF (2003)

⁵⁴ Equação 4.3.1, GPG LULUCF (IPCC, 2003)

Onde:

C_{t_2} Estoque de carbono do reservatório no tempo t_1 , Mg C ha⁻¹ ano⁻¹

C_{t_1} Estoque de carbono do reservatório no tempo t_2 , Mg C ha⁻¹ ano⁻¹

Os estoques de carbono dos projetos são estimados para cada reservatório de carbono considerado pela metodologia utilizada, para o cenário da linha de base e para o cenário do projeto.

2.2.2.5 Carbono no reservatório da biomassa viva

O GPG LULUCF (IPCC, 2003) apresenta duas abordagens para se estimar o carbono na biomassa viva nas árvores: uma abordagem direta usando equações alométricas, e uma indireta usando fatores de expansão da biomassa. A primeira é recomendada preferencialmente (IPCC, 2003).

A abordagem direta, em geral, utiliza equações alométricas no diâmetro na altura do peito dos indivíduos arbóreos acima de um diâmetro mínimo, para estimar a biomassa e o carbono acima e abaixo do solo.

O GPG LULUCF (IPCC, 2003) apresenta algumas equações alométricas, desenvolvidas por Cairns et al. (2007), que podem ser utilizadas para a estimativa da biomassa seca acima do solo (Tabela 13):

Tabela 13 – Equações alométricas para a biomassa arbórea acima do solo

| Tipo de floresta | Equação | Faixa do DAP (cm) | Tamanho da amostra | R ² |
|--|--|-------------------|--------------------|----------------|
| Tropical com precipitação entre 2000 e 4000 mm/ano | $Y = \exp[-2,289 + 2,649 \cdot \ln(\text{DAP}) - 0,021 \cdot (\ln(\text{DAP}))^2]$ | 5 - 148 | 226 | 0,98 |
| Tropical com precipitação acima de 4000 mm/ano | $Y = 21,297 - 6,953 \cdot (\text{DAP}) + 0,740 \cdot (\text{DAP})^2$ | 4 - 112 | 176 | 0,92 |
| Temperada/ Pinus tropicais | $Y = 0,887 + [(10486 \cdot (\text{DAP})^{2,84}) / ((\text{DAP})^{2,84}) + 376907]$ | 0,6 - 56 | 137 | 0,98 |

Onde:

Y Biomassa da raiz, kg matéria seca (m.s.) ha⁻¹

ln Logaritmo natural

exp "e elevado a"

Fonte: Adaptado da Tabela 4.A.1 (IPCC, 2003)

Os métodos para estimar a biomassa e o carbono abaixo do solo são relativamente bem estabelecidos (IPCC, 2003). No entanto, as medições e estimativas para a biomassa abaixo do solo (raízes) é difícil e consome muito tempo, e os métodos utilizados são, em geral, não padronizados. Para tal estimativas, o GPG LULUCF (IPCC, 2003), apresenta as seguintes equações alométricas (Tabela 14):

Tabela 14 – Equações alométricas para a biomassa das raízes

| Condições e variáveis independentes | Equação | Tamanho da amostra | R ² |
|-------------------------------------|--|--------------------|----------------|
| Todas as florestas, BAS | $Y = \exp[-1,085 + 0,9256 \cdot \ln(\text{BAS})]$ | 151 | 0,83 |
| Todas as florestas, BAS e I | $Y = \exp[-1,3267 + 0,8877 \cdot \ln(\text{BAS}) + 0,1045 \cdot \ln(I)]$ | 109 | 0,84 |
| Florestas tropicais, BAS | $Y = \exp[-1,0587 + 0,8836 \cdot \ln(\text{BAS})]$ | 151 | 0,84 |
| Florestas temperadas, BAS | $Y = \exp[-1,0587 + 0,8836 \cdot \ln(\text{BAS}) + 0,2840]$ | 151 | 0,84 |
| Florestas boreais, BAS | $Y = \exp[-1,0587 + 0,8836 \cdot \ln(\text{BAS}) + 0,1874]$ | 151 | 0,84 |

Onde:

Y Biomassa da raiz, Mg m.s. ha⁻¹

ln Logaritmo natural

exp "e elevado a"

BAS Biomassa acima do solo, Mg m.s. ha⁻¹

I Idade da floresta, anos

Fonte: Adaptado da Tabela 4.A.4 (IPCC, 2003)

Na abordagem indireta, a estimativa do carbono na biomassa viva é baseada no volume comercial da árvore, realizada através da seguinte equação⁵⁵ (IPCC, 2003):

⁵⁵ Adaptado da Equação 3.2.3, GPG LULUCF (IPCC, 2003)

$$C = [V * D * FEB] * (1 + R) * FC \quad (2.3)$$

Onde:

- C* Carbono na biomassa viva, Mg m.s. ha⁻¹
V Volume comercial da árvore, m³ ha⁻¹
D Densidade da madeira, toneladas de m.s. por m³ de volume úmido
FEB Fator de expansão da biomassa (relação entre a biomassa seca das árvores e a biomassa seca do volume comercial), sem dimensão
R Relação raiz : biomassa acima do solo, sem dimensão
FC Fração carbono da matéria seca, Mg de C (Mg m.s.)⁻¹

Na abordagem indireta, para a biomassa abaixo do solo, comumente são empregando os valores padrão apresentados na tabela 3A.1.8 do GPG LULUCF (IPCC, 2003) (Tabela 15).

Tabela 15 – Valores padrão para a relação raiz : biomassa acima do solo

| Tipo de vegetação | Biomassa acima do solo (Mg ha⁻¹) | Média | Valor inferior | Valor superior |
|--|---|--------------|-----------------------|-----------------------|
| Florestas secundárias tropicais/sub-tropicais úmidas | <125 | 0,42 | 0,14 | 0,83 |
| Florestas primárias tropicais/sub-tropicais úmidas | Não especificado | 0,24 | 0,22 | 0,33 |
| Florestas tropicais/sub-tropicais secas | Não especificado | 0,27 | 0,27 | 0,28 |
| Florestas de coníferas / Plantações de coníferas | < 50 | 0,46 | 0,21 | 1,06 |
| | 50-150 | 0,32 | 0,24 | 0,5 |
| | > 150 | 0,23 | 0,12 | 0,49 |
| Florestas de carvalho | > 70 | 0,35 | 0,2 | 1,16 |
| Plantações de eucalipto | < 50 | 0,45 | 0,29 | 0,81 |
| | 50-150 | 0,35 | 0,15 | 0,81 |
| Plantações de eucalipto / Florestas de eucalipto | > 150 | 0,2 | 0,1 | 0,33 |
| Outras florestas de folhosas | < 75 | 0,43 | 0,12 | 0,93 |
| | 75-150 | 0,26 | 0,13 | 0,52 |
| | > 150 | 0,24 | 0,17 | 0,3 |

Fonte: Adaptado da Tabela 3A.1.8 (IPCC, 2003).

Embora o valor padrão para a fração carbono adotado pelas metodologias florestais aprovadas pela UNFCCC seja de 0,5, o IPCC (2006) recomenda o valor 0,47 como mais adequado (Tabela 16).

Tabela 16 – Valores padrão para a fração carbono da biomassa florestal seca

| Domínio florestal | Parte da árvore | Fração carbono | Referências |
|------------------------|----------------------------------|-----------------------|---|
| Valor padrão | Todas | 0,47 | McGroddy et al., 2004 |
| Tropical e subtropical | Todas | 0,47 (0,44 – 0,49) | Andreae and Merlet, 2001; Chambers et al., 2001; McGroddy et al., 2004; Lasco and Pulhin, 2003 |
| | Madeira | 0,49 | Feldpausch et al., 2004 |
| | Madeira, árvore DAP < 10 cm | 0,46 | Hughes et al., 2000 |
| | Madeira, árvore DAP ≥ 10 cm | 0,49 | Hughes et al., 2000 |
| | Folhagem | 0,47 | Feldpausch et al., 2004 |
| | Folhagem , árvore DAP < 10 cm | 0,43 | Hughes et al., 2000 |
| | Folhagem , árvore DAP ≥ 10 cm | 0,46 | Hughes et al., 2000 |
| Temperada e boreal | Todas | 0,47 (0,47 – 0,49) | Andreae and Merlet, 2001; Gayoso et al., 2002; Matthews, 1993; McGroddy et al., 2004 |
| | Folhosas | 0,48 (0,46 – 0,50) | Lamlom and Savidge, 2003 |
| | Coníferas | 0,51 (0,47 – 0,55) | Lamlom and Savidge, 2003 |

Fonte: IPCC (2006)

Os métodos para se estimar o carbono nos reservatórios da matéria orgânica morta e no solo orgânico não são abordados nesta dissertação, uma vez que não fazem parte da metodologia de carbono proposta, não obstante, podem ser encontrados nas seções 4.3.3.5.3 e 4.3.3.5.4 do GLG LULUCF (IPCC, 2003).

2.2.2.6 Emissões do projeto

As emissões do projeto estão associadas às atividades resultantes da implementação do projeto que emitem GEE à atmosfera, e, portanto, devem ser quantificadas.

É usual que os procedimentos para quantificar as emissões de GEE sejam baseados no Guia para Inventários Nacionais de GEE do IPCC⁵⁶ (2006).

Existem duas fontes principais de emissão de projetos IFM: as emissões associadas a colheita madeireira e a queima de combustíveis fósseis utilizados para o transporte e pelas máquinas empregadas nas atividades do florestais (VCS, 2011a).

É usual, no entanto, que as emissões de combustíveis fósseis de transporte e máquinas usadas nas atividades do projeto possam ser negligenciadas caso sua soma seja inferior a 5% das remoções líquidas do projeto de carbono. Para essa avaliação deve-se empregar a última versão da ferramenta "Tool for testing significance of GHG Emissions in A/R CDM Project Activities" (UNFCCC, 2007a). Essas emissões podem ser calculadas através da seguinte equação⁵⁷:

$$Emiss\tilde{a}o = \sum_j (Combust\tilde{i}vel_j * FE_j) \quad (2.4)$$

Onde:

| | |
|------------------------------|---|
| <i>Emiss\tilde{a}o</i> | kg |
| <i>Combust\tilde{i}vel_j</i> | Combustível consumido (representado pela quantidade de combustível vendida), TJ |
| <i>FE_j</i> | Fator de emiss\tilde{a}o, kg TJ ⁻¹ |
| <i>j</i> | Tipo de combustível |

Os fatores de emiss\tilde{a}o de CO₂ assumem que 100% do carbono do combustível é oxidado, independente sob qual forma ele é emitido inicialmente, CO₂, CO, NMVOC⁵⁸ ou como particulados.

O IPCC (2006) apresenta a Tabela 3.3.1 com valores padr\~ao, e seus intervalos de incerteza, para os fatores de emiss\tilde{a}o de CO₂, CH₄ e N₂O para ve\tilde{i}culos e m\~aquinas utilizados em atividades *off-road*. As emiss\tilde{a}es podem tamb\~em ser baseadas em fatores espec\tilde{i}ficos de cada pa\tilde{i}s. A Tabela 17 apresenta os fatores de emiss\tilde{a}o para ve\tilde{i}culos utilizados em atividades florestais.

⁵⁶ IPCC 2006 Guidelines for National GHG Inventories

⁵⁷ Equaç\~ao 3.3.1 do Guia para Invent\tilde{a}rios Nacionais de GEE (IPCC, 2006)

⁵⁸ Non-methane volatile organic compounds

Tabela 17 – Valores padrão do fator de emissão de veículos e máquinas *off-road* utilizados em atividades florestais

| CO ₂ | | | CH ₄ | | | N ₂ O | | |
|--|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|------------------|----------------|----------------|
| Padrão (kg/TJ) | Valor inferior | Valor superior | Padrão (kg/TJ) | Valor inferior | Valor superior | Padrão (kg/TJ) | Valor inferior | Valor superior |
| Diesel | | | | | | | | |
| 74.100 | 72.600 | 74.800 | 4,15 | 1,67 | 10,4 | 28,6 | 14,3 | 85,8 |
| Motor a gasolina de quatro tempos | | | | | | | | |
| 69.300 | 67.500 | 73.000 | - | - | - | - | - | - |
| Motor a gasolina de dois tempos | | | | | | | | |
| 69.300 | 67.500 | 73.000 | 170 | 68 | 425 | 0,4 | 0,2 | 1,2 |

Fonte: Adaptado da Tabela 3.3.1 (IPCC, 2006)

As estimativas das emissões do projeto devem ser apresentadas anualmente, em um único valor, representado a soma de todas as emissões e expressas na unidade CO₂-e.

2.2.2.7 Vazamento

O vazamento, também conhecido como fugas, em projetos A/R no âmbito do MDL é definido como:

(...) o aumento das emissões de GEE por fontes que ocorrem fora dos limites do projeto (...) o qual é mensurável e atribuído à atividade do projeto A/R (5/CMP.1, Anexo, parágrafo 1(e)).

As atividades de projetos de carbono devem ser planejadas de modo a minimizar seu vazamento. Em relação a sua estimativa:

De acordo com o parágrafo 21 de modalidades e procedimentos para atividades de projeto A/R no âmbito do MDL, apenas o aumento das emissões de GEE pré-projeto como consequência da implementação do projeto da atividade do projeto de ver ser contabilizado nas

remoções antrópicas líquidas *ex ante* de gases de efeito estufa por sumidouros⁵⁹;

Emissões pré-projeto de GEE de fontes deslocadas para fora dos limites do projeto, a fim de viabilizar uma atividade de projeto de florestamento ou reflorestamento no âmbito do MDL, não devem ser incluídas como vazamento se o deslocamento não aumentar tais emissões respeitando as condições pré-projeto. Caso contrário, o vazamento do projeto é igual ao aumento das emissões de GEE comparadas às condições pré-projeto (EB⁶⁰ 22, Anexo 15, parágrafo 1; EB 28, parágrafo 31).

O VCS (2011a) classifica os vazamentos do projeto em três tipos:

- I. Vazamento de mercado, ocorrendo quando o projeto reduz significativamente a produção de uma commodity causando uma alteração no equilíbrio entre oferta e demanda que resulte na mudança de produção para outra região para compensar a perda de oferta.
- II. Vazamento de deslocamento de atividade, ocorrendo quando o agente do desmatamento é deslocado para fora dos limites do projeto devido a implementação da atividade do projeto, continuando com as atividades de desmatamento (semelhante ao MDL).
- III. Vazamento ecológico, ocorrendo em projetos de recuperação e conservação de áreas de turfa⁶¹, onde a atividade do projeto causa uma alteração nos fluxos ou emissões de GEE do ecossistema que está hidrologicamente conectado à área do projeto.

As emissões do vazamento podem ser determinadas através de monitoramento direto ou indireto, quando forem difíceis de serem monitoradas diretamente, se o conhecimento científico estiver apto a fornecer estimativas confiáveis de seus possíveis impactos.

⁵⁹ As 'remoções antrópicas líquidas *ex ante* de gases de efeito estufa por sumidouros' é o resultado das remoções líquidas de GEE do projeto descontada a linha de base e os vazamentos do projeto. 'Sumidouros' é referente aos reservatórios de carbono envolvidos no projeto

⁶⁰ Comitê Executivo do MDL, *Executive Board* em inglês

⁶¹ Peatland Rewetting and Conservation

Os vazamentos que ocorrerem fora do país anfitrião do projeto podem ser negligenciados.

2.2.2.8 Vazamento de mercado do VCS

Os vazamentos em projetos de IFM são predominantemente atribuídos aos vazamentos de mercado (efeitos de mercado), as quais devem ser contabilizadas da seguinte maneira (VCS, 2011a):

- I. Aplicando o valor de desconto do vazamento de mercado, identificado na Tabela 18, baseado no carbono estocado associado com a atividade que reduz a colheita madeireira;
- II. Contabilizando diretamente o vazamento de mercado associada à atividade do projeto, onde a fuga de mercado deve ser contabilizada na escala nacional, aplicada ao mesmo tipo de floresta envolvida no projeto (por exemplo, florestas contendo as mesmas espécies comerciais ou substitutas das presentes na área do projeto) e deve ser baseada em métodos para quantificação de vazamentos de fontes científicas revisadas⁶².

⁶² Por exemplo: Murray, B.C.; McCarl, B.A.; Lee, H. Estimating Leakage from Forest Carbon Sequestration Programs. *Land Economics*, v. 80, n. 1, p. 109-124, 2004

Tabela 18 – Fatores de desconto para vazamento de mercado do VCS

| Ação do projeto | Risco de vazamento | Fator de desconto do risco de vazamento |
|---|---------------------------|---|
| Atividade de IFM com nenhum ou mínimo efeito sobre o volume de madeira colhido (redução < 25%) | Nenhum | 0% |
| Atividade de IFM que leva à mudanças na colheita ao longo de um período temporal porém altera minimamente o volume de madeira colhido ao longo do tempo (aumentos de 5 a 10 entre rotações) | Baixo | 10% |
| Atividade de IFM que reduzem substancialmente e permanentemente os níveis de colheita (redução > 25%) | Moderado a alto | 0% onde o vazamento ocorrer fora do país do projeto 20% para projetos onde a relação do volume madeireiro comercial e o volume madeireiro total é maior na área para a qual atividade de exploração será transferida 40% para projetos onde a relação do volume madeireiro comercial e o volume madeireiro total é similar na área para a qual atividade de exploração será transferida 70% para projetos onde a relação do volume madeireiro comercial e o volume madeireiro total é maior na área para a qual atividade de exploração será transferida |

Fonte: Adaptado da Tabela 3 do VCS (2011a)

Assim como para as emissões de projeto, é usual que as emissões de vazamentos possam ser negligenciadas caso sua soma seja inferior a 5% das remoções líquidas do projeto de carbono. Novamente, para essa avaliação deve-se empregar a última versão da ferramenta "Tool for testing significance of GHG Emissions in A/R CDM Project Activities" (VCS, 2011a).

2.2.2.9 Monitoramento

O monitoramento em projeto de A/R no âmbito do MDL é definido como:

(...) coleção e arquivamento de todos os dados necessários para a estimativa e mensuração das remoções antrópicas líquidas de GEE por sumidouros durante o período de crédito do projeto (UNFCCC, 2009).

O monitoramento deve seguir o plano de monitoramento, estipulado no Documento de Concepção de Projeto e baseado em uma metodologia de monitoramento aprovada ou nova (5/CMP.1 Anexo, parágrafo 26). De modo a:

- a. (...) especificar os métodos e técnicas de amostragem e medição dos reservatórios de carbono e emissões de GEE incluídos nas remoções líquidas reais de GEE por sumidouros⁶³, em conformidade com princípios empregados comumente e critérios envolvidos no inventário florestal;
- b. Coleta e arquivamento de todos os dados necessários para a estimativa das remoções líquidas de GEE da linha de base por sumidouros durante o período de crédito do projeto. Se o projeto utiliza parcelas para determinar a linha de base, o plano de monitoramento deve especificar as técnicas e métodos de amostragem utilizados para a medição individual dos reservatórios de carbono e emissões de GEE;
- c. Identificação de todas as fontes potenciais, e a coleta e arquivamento dos dados, de vazamento durante o período de crédito do projeto;
- d. Coleta e arquivamento de todas as informações relacionadas ao plano de monitoramento e medidas corretivas relacionadas a qualquer alteração negativa significativa de impactos ambientais e socioeconômicos, incluindo impactos sobre a biodiversidade e o ecossistema natural, e impactos fora da fronteira do projeto A/R no âmbito do MDL;
- e. Coleta de informações transparentes e verificáveis para demonstrar que qualquer escolha de não contabilização de um ou mais reservatórios de carbono, e/ou emissões de GEE medidas em CO₂ equivalente, com a finalidade de calcular as remoções de GEE por sumidouros na linha de base e/ou as remoções líquidas reais de

⁶³ Remoções de GEE do projeto descontando-se as emissões do projeto.

- GEE por sumidouros não aumenta as remoções antrópicas líquidas de GEE por sumidouros;
- f. Alterações nas circunstâncias dentro dos limites do projeto que afete a posse legal da terra ou os direitos de acesso aos reservatórios de carbono;
 - g. Garantia de qualidade e procedimentos de controle para o processo de monitoramento e;
 - h. Procedimentos para os cálculos periódicos das remoções antrópicas líquidas de GEE estufa por sumidouros devido as atividades do projeto de A/R e documentação de todos os passos envolvidos nesses cálculos, e para a revisão periódica da implementação de atividades e medidas que mitiguem o vazamento (5/CMP.1 Anexo, parágrafo 25).

Em geral, os planos de monitoramento seguem os mesmos princípios apontados acima, independente do tipo de atividade e do padrão onde será desenvolvido.

O proponente do projeto deve apresentar um relatório de monitoramento para poder receber os créditos de seu projeto nos períodos de verificação do mesmo.

2.2.2.10 Verificação

A atividade de verificação, definida no âmbito do MDL, é:

A revisão periódica independente e determinação *ex post*, por uma Entidade Operacional Designada (EOD)⁶⁴, das remoções antrópicas líquidas de GEE alcançadas por sumidouros, desde o início do projeto (5/CMP.1, Anexo, parágrafo 31).

Os passos do processo de verificação envolvem (5/CMP.1, Anexo, parágrafo 34):

De acordo com as disposições sobre confidencialidade no parágrafo 27(h) do anexo de decisão 10/CP.7, a EOD contratada pelos participantes do projeto para realizar a verificação deve disponibilizar publicamente relatório de monitoramento, e deve:

- a. Determinar se os documentos fornecidos do projeto estão em conformidade com as informações apresentadas no Documento de

⁶⁴ Entidade autorizada a validar projetos de carbono

Concepção de Projeto e as disposições relevantes das decisões 19/CP.9, dos anexos presentes e decisões relevantes da COP/MOP;

- b. Realizar inspeções no local, conforme o caso, que podem incluir, *inter alia*, uma revisão dos registros de desempenho, entrevistas com participantes do projeto interessados locais, coleta de medições, observação das práticas estabelecidas e teste da precisão dos equipamentos de monitoramento;
- c. Determinar se os impactos socioeconômicos e ambientais foram monitorados em conformidade com o plano de monitoramento;
- d. Determinar se houve quaisquer alterações nas circunstâncias dentro do limite do projeto que afetem o título legal da terra ou direitos de acesso aos reservatórios de carbono;
- e. Analisar as atividades do manejo, incluindo os ciclos de colheita, e o uso de parcelas amostrais para determinar se os seguintes pontos foram evitados:
 - i. Uma coincidência sistemática da verificação nos períodos de pico dos estoques de carbono;
 - ii. Um grande erro sistemático na coleta de dados.
- f. Se for o caso, o uso de dados adicionais de outras fontes;
- g. Rever os resultados do monitoramento e verificar se as metodologias de monitoramento foram aplicadas corretamente e se sua documentação está completa e transparente;
- h. Recomendar aos participantes do projeto mudanças adequadas ao plano de monitoramento;
- i. Determinar as remoções antrópicas líquidas de GEE por sumidouros, utilizando os dados monitorados ou outros referidos no parágrafo 34 (a), (b), (f) e (g) acima, conforme o caso, utilizando procedimentos de cálculo contidos no Documento de Concepção de Projeto registrado;
- j. Identificar e informar aos participantes do projeto quaisquer preocupações relativas à conformidade da atividade de projeto no âmbito do MDL e sua operação com o documento registrado de concepção do projeto. Participantes do projeto devem abordar as preocupações e fornecer informações adicionais pertinentes;
- k. Fornecer um relatório de verificação aos participantes do projeto, as partes envolvidas e ao Conselho Executivo. O relatório será tornado público.

Uma vez completados os passos acima, a EOD certifica as reduções alcançadas pelo projeto. A primeira verificação de um projeto A/R pode ser realizada a qualquer momento e as verificações subsequentes devem ser realizadas no máximo a cada cinco anos, até o final do período de crédito do projeto (5/CMP.1, Anexo, parágrafo 32).

As verificações dos projetos desenvolvidos no âmbito do VCS, independente do tipo de atividade, seguem os mesmos princípios, com a exceção de que a primeira verificação deve ocorrer dentro dos cinco primeiros anos após a validação do projeto (VCS, 2011a).

2.2.2.11 Estimativa da média do benefício a longo-prazo do carbono

No âmbito do VCS, a estimativa da média do benefício a longo-prazo do estoque de carbono está diretamente associada ao volume de "Unidades de Carbono Verificadas" (VCU⁶⁵, sigla em inglês) que um projeto florestal de carbono pode receber durante as verificações (VCS, 2011a).

Em linhas gerais, esse conceito é aplicável para projetos ARR⁶⁶ e visa garantir que a quantidade de créditos de carbono gerada pelo projeto esteja de acordo com a média do benefício a longo-prazo do estoque de carbono que o projeto gera.

Este conceito pode parecer confuso, não obstante, ele baseia-se no fato de que o período de crédito de um projeto de carbono não apresenta necessariamente o mesmo número de anos do ciclo de rotação de um plantio comercial. Dessa forma, o período de crédito do projeto de carbono poderia terminar em um momento onde o estoque de carbono do plantio comercial estivesse em seu ponto máximo (ou em qualquer ponto superior à média), o que resultaria, conseqüentemente, em um aumento da média de carbono estocado durante o período de crédito do projeto (VCS, 2011a, 2011c).

Para corrigir esse problema, o VCS calcula a média do benefício a longo-prazo do estoque de carbono baseado não no período de crédito do projeto, mas sim no período que se estende até o último ano do último ciclo de rotação ocorrendo na área do projeto (VCS, 2011a, 2011c).

⁶⁵ Verified Carbon Units, nome dado aos créditos de carbono registrados no âmbito do VCS

⁶⁶ Afforestation, Reforestation and Revegetation

O VCS, no entanto, não apresenta nenhuma informação sobre como deve ser a estimativa da média do benefício a longo-prazo do estoque de carbono em projetos de IFM, em especial envolvendo a conversão da EC para o MF-EIR.

2.2.2.12 A questão da não-permanência dos créditos florestais

Um projeto florestal de carbono representa um impacto positivo à mitigação das mudanças do clima apenas enquanto seus reservatórios de carbono mantiverem um certo volume adicional de carbono estocado. Embora o proponente do projeto deva, preferivelmente, apresentar evidências de que o carbono adicional irá se manter presente nos reservatórios após o fim do período de crédito do projeto, nada garante que isso acontecerá. Outro problema é com o carbono adicional durante o período de crédito, uma vez que existem riscos atrelados aos projetos florestais que podem causar sua perda, como a ocorrência de incêndios, catástrofes naturais, falta de experiência das partes envolvidas, etc... Como esta questão está diretamente relacionada com a permanência do carbono nos reservatórios do projeto, o problema ficou conhecido como a questão da não-permanência.

A UNFCCC tratou a questão da não-permanência em projetos A/R no âmbito do MDL colocando uma "data de validade" nos créditos de carbono emitidos, chamados "Reduções Certificadas de Emissões" (CER⁶⁷, sigla em inglês). Foram criadas duas opções distintas para os CERs florestais, os temporários (tCER), que basicamente expiram durante o primeiro processo de verificação posterior à verificação onde foram emitidos, e os de longo prazo (ICER), que basicamente expiram ao final do período de crédito do projeto (KRUG, 2005). Após sua expiração, os tCERs ou ICERs devem ser substituídos por novos CERs, de outros projetos.

No âmbito do MDL a questão da não-permanência é tratada, de modo geral, através da substituição dos créditos de carbono após sua expiração. No mercado voluntário, os créditos não possuem data de expiração e, portanto, não são substituídos.

A idéia defendida pelos padrões do mercado voluntário em geral é de que a atividade do projeto de carbono deve resultar em um carbono adicional que teoricamente será, ou apresenta evidências de ser, mantido na área do projeto mesmo após o término de seu período de crédito. Essa abordagem não assegura

⁶⁷ Certified Emission Reduction

necessariamente que o carbono adicional seja mantido nos reservatórios da área do projeto e a eficácia do projeto na mitigação das mudanças do clima, no entanto, isso não vem sendo visto como um problema pelas partes interessadas e envolvidas atualmente no mercado voluntário de créditos de carbono florestais.

O VCS, e de modo geral todos os padrões do mercado voluntário de carbono, tratam a questão da não-permanência apenas durante o período de crédito do projeto. Estão, portanto, preocupados apenas em evitar o impacto de riscos externos sobre os estoques de carbono adicional do projeto.

A solução encontrada foi a criação do chamado *buffer* (ou reservatório) de créditos do projeto. O *buffer* nada mais é do que uma porcentagem, fixa ou calculada em função da análise dos riscos do projeto (dependendo de cada padrão), dos créditos de carbono gerados pelo projeto que não podem ser comercializados. Em geral, a somatória dos créditos dos *buffers* de todos os projetos é armazenada em uma conta única e administrada pelo regime do mercado voluntário, que possui um esquema de registro para os créditos, onde o projeto foi aprovado, de modo que, caso algum dos projetos florestais sofra uma perda significativa de seu carbono adicional, os créditos armazenados funcionem como uma forma de seguro, garantindo a adicionalidade do projeto em questão. Além do próprio projeto apresentar sua própria reserva de crédito, definida pelo seu *buffer*.

Em geral, a medida que o projeto amadurece, a porcentagem de créditos em seu *buffer* diminui, liberando créditos de carbono para comercialização.

O VCS estabelece o *buffer* dos projetos florestais através da análise de risco do projeto. A análise é realizada através da última versão da ferramenta "AFOLU Non-Permanence Risk Tool" (VCS, 2011d).

2.3 Material e Métodos

A metodologia para projetos florestais de carbono envolvendo a EC para o MF-EIR foi baseada nas abordagens sugeridas pelo IPCC, nos procedimentos, ferramentas e metodologias aprovadas pela UNFCCC e VCS, mais especificamente nas:

I. Diretrizes apresentadas nos seguintes documentos:

- "Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry" (IPCC, 2003);
- "2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories" (IPCC, 2006);
- "VCS Program Guide" v.3.0 (VCS, 2011e);
- "VCS Standard" v.3.1 (VCS, 2011f);
- "Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU) Requirements" v.3.0 (VCS, 2011a);
- "AFOLU Guidance: Example for Calculating the Long-Term Average Carbon Stock for ARR Projects with Harvesting" (VCS, 2011c).

II. Ferramentas:

- Ferramenta aprovada VCS VT0002 "Tool for the Demonstration and Assessment of Additionality in IFM Project Activities" (v.1.0) (VCS, 2010b);
- Ferramenta metodológica A/R "Estimation of carbon stocks and change in carbon stocks of trees and shrubs in A/R CDM project activities" (v.02.1.0) (UNFCCC, 2011b).
- Ferramenta metodológica A/R "Estimation of carbon stocks and change in carbon stocks in dead wood and litter in A/R CDM project activities" (v.01.1.0) (UNFCCC, 2010b);
- Ferramenta metodológica A/R "Tool for testing significance of GHG emissions in A/R CDM project activities" (v.01) (UNFCCC, 2007a);
- Ferramenta aprovada VCS "AFOLU Non-Permanence Risk Tool" (v.3.0) (VCS, 2011e).

III. Metodologias para projetos de carbono:

- AR-ACM0001 "Afforestation and reforestation of degraded land" (v.05.1.1) (UNFCCC, 2011);
- VCS VM0009 "Methodology for Avoided Mosaic Deforestation of Tropical Forests" (v.1.0) (VCS, 2011g);

- VCS VM0011 "Methodology for Calculating GHG Benefits from Preventing Planned Degradation" (v1.0) (VCS, 2011h).

Os atuais documentos do VCS não deixam claro o modo como deve ser quantificado o volume de VCU gerado por uma atividade do projeto de carbono envolvendo a conversão da EC para o MF-EIR. A fim de se definir a correta forma de quantificar este volume na metodologia, os especialistas em projetos IFM recomendados pelo VCS⁶⁸ foram contatados (Anexo C) além da própria *VCS Association*.

No contato com esses especialistas foram apresentadas duas possíveis abordagens, A e B, para a quantificação dos VCUs do projeto, onde: (1) segundo a abordagem A, o volume total de créditos do projeto seria resultado da soma dos créditos emitidos a cada verificação, resultado da diferença entre os estoques de carbono da linha de base e do cenário do projeto, dividido pelo número de verificações; e (2) segundo a abordagem B o volume total de créditos do projeto seria resultado da soma dos incrementos observados nos estoques de carbono em relação à verificação anterior.

2.4 Resultados

A metodologia envolvendo a EC para o MF-EIR encontra-se anexa à esse capítulo (Anexo B), juntamente com uma adaptação da ferramenta para avaliação da adicionalidade de um projeto envolvendo a EC para o MF-EIR (Anexo A).

Embora o VCS exija a contabilização e monitoramento do reservatório de matéria morta para atividades envolvendo o MF-EIR, esta não foi incluída na metodologia, uma vez que sua diminuição no cenário do projeto em relação ao cenário da linha de base ocorre em detrimento do estoque de carbono na biomassa viva da floresta.

Em relação às respostas dos especialistas recomendados pelo VCS, de dez contatos realizados através do correio eletrônico, seis responderam. Dentre eles: um especialista sugeriu contatar diretamente a *VCS Association*; um sugeriu utilizar a

⁶⁸ VCSA-approved AFOLU Experts

abordagem A; dois sugeriram utilizar a abordagem B; e dois propuseram brevemente novas abordagens de contabilização.

A resposta obtida da *VCS Association* não abordou o conteúdo da pergunta. Fizeram, no entanto, referência às regras do VCS que tratam de projetos IFM envolvendo o manejo de florestas com idades iguais, o que não se aplica às florestas tropicais.

Ficou clara a falta de padronização e de regras específicas para a quantificação dos VCUs gerados por um projeto IFM envolvendo a conversão da EC para o MF-EIR no âmbito do VCS.

A forma adotada para a quantificação do volume de VCUs gerado pela atividade do projeto de carbono envolvendo a conversão da EC para o MF-EIR é apresentada na metodologia proposta, onde o período para o qual a média de longo prazo dos benefícios do carbono foi calculada em função dos anos do período de crédito do projeto, sendo o último ano aquele onde o estoque de carbono da floresta sob o cenário do projeto atinge o estoque de carbono inicial da floresta, anterior à implementação do projeto, e não do último ano da última rotação realizada durante o período de crédito do projeto, conforme estipulado pelo VCS para projetos IFM envolvendo florestas com mesma idade (VCS, 2011f, sessão 4.5.12).

2.5 Discussão

Inúmeras fontes destacam o importante papel do manejo de florestas tropicais através do MF-EIR para a mitigação das mudanças do clima (MOURA-COSTA, 1996; KELLER et. al., 2004; WUDNER, 2005; 2006; PUTZ et. al., 2008, 2011; BROADBENT et. al., 2008; ASNER, et. al. 2009; MAZZEI et. al. 2010; PFAFF et. al. 2010; NASI et. al., 2011; MEDJIBE et al., 2011). Em 2007, com o lançamento da segunda versão das diretrizes do VCS (VCS, 2008a, 2011c), tal modalidade passou a ser elegível para o desenvolvimento de projetos de carbono, no mercado voluntário.

Os projetos desenvolvidos no âmbito do VCS devem, no entanto, utilizar uma metodologia aprovada pela *VCS Association* (2011f) e até então não existem nenhuma metodologia específica para esse tipo de atividade de projeto.

A metodologia proposta se destaca pela objetividade, baseando-se em elementos práticos de metodologias já aprovadas e pouco extensa se comparada às metodologias florestais aprovadas pelo VCS envolvendo atividades de projeto de REDD, extremamente detalhistas. Assim como a tendência de praticidade observada nas últimas versões das metodologias florestais aprovadas UNFCCC (por exemplo, a AR-ACM0001 v.05.1.1 de 2011, 13 páginas), quando comparadas às suas respectivas versões iniciais (AR-ACM0001 v.01 de 2008, 49 páginas), a metodologia proposta de MF-EIR faz referência às ferramentas consolidadas empregadas pelo MDL e pelo VCS, evitando inconsistências metodológicas comuns em metodologias detalhistas que não fazem referência à tais ferramentas.

A metodologia apresentada é funcional, vista que é baseada em elementos reais de guias importantes e metodologias e ferramentas aprovadas, no entanto, cabe destacar que para seu emprego é necessário um conjunto de informações sobre regeneração de florestas tropicais exploradas convencionalmente e manejadas através do MF-EIR, pouco disponível na literatura, especialmente quando comparado ao de plantações comerciais ou restaurações florestais, utilizados em projetos A/R.

A não inclusão do reservatório de matéria morta na metodologia para projetos de crédito de carbono envolvendo a conversão da EC para o MF-EIR vai de encontro aos preceitos de sustentabilidade da atividade madeireira, que devem ser garantidos pelas práticas do manejo florestal. Trata-se da própria essência do conceito de pagamento por serviços ambientais, onde além da simples quantificação do carbono adicional do projeto de carbono, devem-se quantificar as alterações entre os reservatórios de carbono da floresta e recompensar, desta forma, e em especial para atividade envolvendo a conversão da EC para o MF-EIR, o carbono adicional na biomassa viva, em detrimento do carbono na biomassa morta.

Em relação à estimativa da média do benefício a longo-prazo do estoque de carbono em projetos de IFM envolvendo a conversão da EC para o MF-EIR, o VCS não possui regras sobre como proceder e os critérios apresentados neste capítulo podem ser adotados para as próximas versões das regras deste padrão e de outros que abordem atividades IFM.

Não obstante, é importante destacar que até o presente momento nenhum projeto de carbono envolvendo este tipo de atividade foi desenvolvido no mundo e que ainda existe uma lacuna no conhecimento científico e de caráter metodológico

para poder viabilizar tal atividade. É natural, portanto, que não somente o VCS, mas qualquer outro padrão do mercado de carbono, não apresente regras claras sobre este assunto.

2.6 Conclusões

A metodologia para projetos de carbono envolvendo a EC para o MF-EIR estima o carbono adicional da regeneração florestal pós-exploração, baseando-se nas regras atuais do padrão para o mercado voluntário de carbono *Verified Carbon Standard* (VCS), que provavelmente servirão de guia, mesmo que parcialmente, ao provável programa futuro REDD+. Os passos descritos nela foram baseados em metodologias e ferramentas de cálculo aprovadas e na linearidade dos estoques de carbono entre os anos monitorados. A metodologia se apresentou funcional e nenhum fator foi identificado como de impedimento para sua aprovação no âmbito do VCS.

A estimativa da linha de base da metodologia depende, todavia, de dados e/ou modelos sobre a regeneração florestal explorada através da EC, ainda escassos na literatura. Não obstante, o incentivo financeiro dos créditos de carbono pode, contudo, fomentar pesquisas científicas que contribuam para o melhor entendimento e a construção de cenários mais prováveis sobre a dinâmica de tal regeneração.

Destaca-se que, incluir o reservatório de matéria morta em atividades de projetos de carbono envolvendo a conversão da EC para o MF-EIR contradiz os conceitos de pagamento por serviços ambientais, uma vez que passa-se a atribuir a mesma importância para o carbono no reservatório de carbono da biomassa viva e para o carbono no reservatório da matéria morta.

Referências

ARCHER, D.; EBY, M.; BROVING, V.; RIDGWELL, A.; CAO, L.; MIKOLAJEWICZ, U.; CALDEIRA, K.; MATSUMOTO, K.; MUNHOVEN, G.; MONTENEGRO, A.; TOKOS, K. Atmospheric lifetime of fossil fuel carbon dioxide. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**, Palo Alto, v. 37, p. 117-134, 2009.

CAIRNS, M.A.; BROWN, S.; HELMER, E.H.; BAUMGARDNER, G.A. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia*, New York, v. 111, p. 1-11, 1997.

HAMILTON, K.; SJARDIN, M.; SHAPIRO, A.; MARCELLO, T. **Fortifying the foundation: state of the voluntary carbon markets 2009**. New York: Ecosystem Marketplace & New Carbon Finance, 2009. 92 p.

_____. **Good practice guidance for land use, land-use change and forestry**. Hayama: Institute for Global Environmental Strategies for the IPCC, 2003. 632 p.

_____. Agriculture, forestry and other land use. In: EGGLESTON, H.S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. **IPCC 2006 guidelines for national greenhouse gas inventories**: prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Hayama: Institute for Global Environmental Strategies for the IPCC, 2006a. v. 4, p. 1.1-12.33.

KELLER, M.; ASNER, G.P.; SILVA, N.; PALACE, M. Sustainability of selective logging of upland forests in the Brazilian Amazon: carbon budgets and remote sensing as tools for evaluation of logging effects. In: ZARIN, D.E.A. **Working forests in the tropics**: conservation through sustainable management? New York: Columbia University Press, 2004. p. 41-63.

KOSSY, A.; AMBROSI, P. **State and trends of the carbon market 2010**. Washington: Carbon Finance at the World Bank, 2010. 78p.

KRUG, T. **Modalidades e procedimentos para atividades de projeto de florestamento e reflorestamento no mecanismo de desenvolvimento limpo**: uma síntese. São José dos Campos: INPE; Instituto Interamericano para Pesquisa em Mudanças Globais. Propostas Metodológicas para Projetos de Sequestro de Carbono por Florestas Nativas, promovido pela Secretaria do Meio Ambiente do Estado - SMA, Consulado-Geral dos Estados Unidos e CENBIO-USP, 2005. 19 p.

LOPEZ, P. **Review of forestry carbon standards**: development of a tool for organizations to identify the most appropriate forestry carbon credit. 2009. 114 p. Thesis (Master of Science) - Imperial College London, London, 2009.

MAZZEI, L.; SIST, P.; RUSCHEL, A.R.; PUTZ F.E.; MARCO, P.; PENA, W.; RIBEIRO FERREIRA, J.E. Above-ground biomass dynamics after reduced-impact logging in the Eastern Amazon. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 259, n. 3, p. 367-373. 2010.

MEDJIBE, V.P.; PUTZ, F.E.; STARKEY, M.P.; NDOUNA, A.A.; MEMIAGHE, H.R. Impacts of selective logging on above-ground forest biomass in the Monts de Cristal in Gabon. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, 2011. In press.

MERGER, E. **The role of forest carbon standards in the over-the-counter voluntary carbon market: analysis on the economic efficiency and organizational legitimacy of forest carbon standards certifying afforestation/reforestation carbon projects**. 2010. 130 p. Thesis (PhD. in Forestry Science) - Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Freiburg, 2010.

MOURA-COSTA, P. Tropical forestry practices for carbon sequestration. In: SCHULTE, A.; SCHÖNE, D.H. **Dipterocarp forest ecosystems: towards sustainable management**. Singapore: World Scientific Publ., 1996. chap. 3, p. 308-334.

MURRAY, B.C.; MCCARL, B.A.; LEE, H. Estimating leakage from forest carbon sequestration programs. **Land Economics**, Madison, v. 80, p.109-124. 2004.

NASI, R.; PUTZ, F.E.; PACHECO, P.; WUNDER, S.; ANTA, S. Sustainable forest management and carbon in tropical Latin America: the case for REDD+. **Forests**, Basel, v. 2, p. 200-217, 2011.

NEFF, T; LUEPKE, H.V.; SCHOENE, D. **Choosing a forest definition for the clean development mechanism**. 18 p. Rome: FAO, 2006. (Forests and Climate Change Working Paper, 4).

PLAFF, A.; SILLS, E.O.; AMACHER, G.S.; COREN, K.L.; STRECK, C. **Policy impacts on deforestation lessons learned from past experiences to inform new initiatives**. Durham: University of Duke, Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions, 2010. 55 p.

PUTZ, F.E.; ZULDEMA, P.A.; PINARD, M.A.; BOOT, R.G.A.; SAYER, J.A.; SHEIL, D.; SIST, P.; ELLAS; VANCLAY, J.K. Improved tropical forest management for carbon retention. **Plos Biology**, San Francisco, v. 6, p. 1368-1370, 2008.

PUTZ, F.E.; SYNNOTT, T.; PEÑA-CLAROS, M.; PINARD, M.; SHEIL, D.; VANCLAY, J.; SIST, P.; GOURLET-FLEURY, S.; GRISCOM, B.; PALMER, J.; ZAGT, R.; ZUIDEMA, P. Sustaining tropical forests with forestry. **PLoS Biology**, San Francisco, 2011. In press.

UNITED NATIONS COLLABORATIVE PROGRAMME ON REDUCING EMISSIONS FROM DEFORESTATION AND FOREST DEGRADATION IN DEVELOPING COUNTRIES. **Perspectives on REDD+**. Geneva, 2010. 9 p.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **Kyoto protocol**. Kyoto, 1998. 20 p.

_____. **A/R methodological tool “combined tool to identify the baseline scenario and demonstrate additionally in A/R CDM project activities”**: version 01. Bonn, 2007b. 13 p.

_____. **Tool “tool for testing significance of GHG emissions in A/R CDM project activities”**: version 01. Bonn, 2007a. 3 p.

_____. **Consolidated afforestation and reforestation baseline and monitoring methodology AR-ACM0001 "Afforestation and reforestation of degraded land"**: version 01. Bonn, 2008. 49 p.

_____. **CDM methodology booklet**. Bonn, 2010a. 211 p.

_____. **A/R methodological tool "estimation of carbon stocks and change in carbon stocks in dead wood and litter in A/R CDM project activities"**: version 01. Boon, 2010b. 18 p.

_____. **Consolidated afforestation and reforestation baseline and monitoring methodology AR-ACM0001 "Afforestation and reforestation of degraded land"**: version 05.1.1. Boon, 2011a. 13 p.

_____. **A/R methodological tool "estimation of carbon stocks and change in carbon stocks of trees and shrubs in A/R CDM project activities"**: version 02.1.0. Boon, 2011b. 25 p.

VCS ASSOCIATION. **Guidance for agriculture, forestry and other land use projects**. Washington, 2008a. 44 p.

_____. **Tool for the demonstration and assessment of additionally in VCS Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU) Project Activities**: version 1.0. Washington, 2010a. 12 p.

_____. **Tool for the demonstration and assessment of additionally in IFM Project Activities**: version 1.0. Washington, 2010b. 11 p.

_____. **Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU) requirements**: requirements document; version 3.0. Washington, 2011a. 46 p.

_____. **Methodology approval process**: procedural document; version 3.0. Washington, 2011b. 23 p.

_____. **AFOLU guidance**: example for calculating the long-term average carbon stock for ARR Projects with harvesting; VCS guidance. Washington, 2011c. 9 p.

_____. **AFOLU non-permanence risk tool**: VCS version 3; procedural document. Washington, 2011d. 19 p.

_____. **VCS program guide**: version 3.0. Washington, 2011e. 21 p.

_____. **VCS standard**: version 3.1. Washington, 2011f. 32 p.

_____. **VM0009 "methodology for avoided mosaic deforestation of tropical forests"**: version 1.0. Washington, 2011g. 174 p.

_____. **VM0011 "methodology for calculating ghg benefits from preventing planned degradation"**: version 1.0. Washington, 2011h. 149 p.

WUNDER, S. **Payments for environmental services**: some nuts and bolts. Bogor: Center for International Forestry Research, 2005. 24 p. (Occasional Paper, 42).

_____. The efficiency of payments for environmental services in tropical conservation. **Conservation Biology**, Hoboken, v. 21, n. 1, p. 48-58, 2006.

3 PROJETO DE CRÉDITO DE CARBONO ENVOLVENDO A CONVERSÃO DA EXPLORAÇÃO MADEIREIRA CONVENCIONAL PARA O MANEJO FLORESTAL COM EXPLORAÇÃO DE IMPACTO REDUZIDO

Resumo

As crescentes preocupações com a mitigação das mudanças do clima levaram à criação de mecanismos de mercado que recompensassem financeiramente ações adicionais de remoção de gases do efeito estufa da atmosfera através de projetos voltados ao mercado de carbono. Embora, no âmbito do Protocolo de Kyoto, apenas atividades florestais de florestamento e reflorestamento sejam consideradas elegíveis, a maturação do mercado voluntário de carbono levou regimes de mercado como o *Verified Carbon Standard* (VCS) a aceitarem, entre outras, atividades de projeto envolvendo a melhoria do manejo florestal, incluindo a conversão da exploração madeireira convencional (EC) para o manejo florestal com exploração de impacto reduzido (MF-EIR), atividade esta que, muito provavelmente, estará incluída no escopo de um futuro programa florestal de mitigação das mudanças do clima, o REDD+ (redução de emissões do desmatamento e degradação florestal mais os benefícios do sequestro de carbono através de melhorias do manejo florestal). Utilizando uma série histórica de 16 anos de dados de uma área florestal explorada através da EC e do MF-EIR, estimou-se os impactos dos tratamentos na dinâmica do carbono ao longo do tempo, sob a perspectiva de um projeto florestal de crédito de carbono envolvendo a conversão da EC para o MF-EIR. A comparação entre os tratamentos MF-EIR e EC em relação às taxas de regeneração dos estoques de carbono apontou diferenças estatísticas significativas ($P < 0,001$). O tratamento MF-EIR apresentou um incremento médio observado de $12,30 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e estimado de $13,01 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, enquanto que o tratamento EC apresentou um incremento médio observado de $5,42 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e estimado de $5,43 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Palavras-chave: Crédito de carbono; Melhoria do manejo florestal; VCS; REDD+; Mitigação das mudanças do clima; Dinâmicas do carbono; Exploração convencional, Exploração de Impacto Reduzido, Floresta amazônica

Abstract

Growing concerns over global climate change led to the development of market mechanisms that financially compensate additional retention or sequestration of greenhouse gases (GHGs). While under the Kyoto Protocol only forest activities related to afforestation and reforestation are eligible for compensation, maturation of voluntary carbon markets led to schemes such as the Verified Carbon Standard (VCS) to accept other sorts of forest-based offsets, such as the conversion from conventional logging (CL) to reduced-impact logging (RIL). It is anticipated that this sort of activity will also be included in the scope of the future REDD+ program (reduced emissions from deforestation and forest degradation plus the carbon sequestration benefits of improved forest management). Carbon dynamics over a 16

year period after CL and RIL in Paragominas, Pará State, Brazil was assessed. The observed and estimated mean annual increments in carbon stocks after RIL were 12.30 Mg C ha⁻¹ yr⁻¹ and 13.01 Mg C ha⁻¹ yr⁻¹. After CL, in contrast, the annual increments in carbon stocks (observed and estimated) were only 5.42 Mg C ha⁻¹ yr⁻¹ and 5.43 Mg C ha⁻¹ yr⁻¹, respectively.

Keywords: Carbon offsets; Improved forest management; VCS; REDD+; Climate change mitigation; Carbon dynamics; Conventional logging, Reduced Impact Logging, Amazon rainforest

3.1 Introdução

Diversos autores apontam que a conversão da exploração madeireira convencional (EC) para o manejo florestal com exploração de impacto reduzido (MF-EIR) é uma prática comprovadamente eficaz para a conservação da biomassa e, conseqüentemente, dos estoques de carbono nos ecossistemas florestais, além de apresentar ganhos significativos em relação à sustentabilidade da atividade madeireira pelo reflexo positivo na regeneração da floresta explorada (JONHS; BARRETO; UHL, 1996; BARRETO; UHL; JOHNS, 1998; HOLMES et al., 2002; DYKSTRA, 2002; VIDAL; VIANA; FERREIRA, 2002; BOLTZ; HOLMES, CARTER, 2003; VIDAL, 2004; KELLER et al., 2004; VALLE et al., 2007; PUTZ et al., 2008, 2011; MAZZEI et al., 2010; MACPHEARSON et al., 2010; 2011; MEDJIBE et al., 2011), além de contribuir com os esforços para mitigação das mudanças do clima (WUNDER, 2005; 2006; MAZZEI et al., 2010; PFAFF et al., 2010; NASI et al., 2011; MEDJIBE et al., 2011).

Segundo Putz et al. (2008), o emprego de melhorias no manejo florestal de florestas tropicais poderia representar uma redução de cerca de 10% das emissões de GEE oriundas do desmatamento anual de florestas, cerca de 0,16 G t C ano⁻¹.

Dados levantados ao longo do tempo de uma área explorada através da EC e do MF-EIR em 1993, em Paragominas, estado do Pará, foram utilizados para se comparar o impacto dos tratamentos na dinâmica dos estoques de carbono florestais de forma a subsidiar as informações necessárias à implementação de um projeto de crédito de carbono envolvendo a conversão da EC para o MF-EIR, no âmbito do padrão do mercado voluntário de *Verified Carbon Standard* (VCS), onde atividades

florestais envolvendo melhorias do manejo florestal (IFM⁶⁹, sigla em inglês) são elegíveis atualmente (VCS, 2008a; 2011a).

Para tanto, a metodologia desenvolvida no capítulo anterior dessa dissertação foi empregada.

3.2 Revisão Bibliográfica

3.2.1 Projetos florestais de carbono

Segundo Hamilton et al. (2009), atualmente existem 226 projetos florestais de carbono registrados ao redor do mundo, desenvolvidos no âmbito dos diversos padrões do mercado de carbono. A Figura 11 mostra a localização de cada um deles.

No âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), estão registrados 29 projetos florestais de carbono, equivalente a 0,74% do número total de projetos de MDL registrados⁷⁰. No âmbito do VCS, existem 14 projetos registrados, envolvendo atividades de florestamento/reflorestamento (A/R) e redução de emissões do desmatamento e degradação florestal (REDD)⁷¹.

O baixo número de projetos florestais de carbono registrado no âmbito do MDL, se comparado ao escopo energético, se deve a várias questões, entre elas maior complexidade de desenvolvimento e monitoramento, maior envolvimento de partes interessadas e maiores riscos envolvidos nas atividades. Além da questão da não-permanência dos créditos⁷², que impacta diretamente o interesse em créditos florestais e, conseqüentemente, em projeto A/R no âmbito do MDL.

Por outro lado, o mercado não-regulado vem apresentando grande interesse em créditos de projetos florestais e o número de transações vem crescendo consideravelmente nos últimos anos (HAMILTON et al., 2009). Espera-se que, à medida que os padrões florestais do mercado ganhem maturidade, o número de projetos florestais direcionados aos mercado de carbono cresçam cada vez mais, como pode ser observado pela evolução histórica de projetos VCS e CCBS⁷³.

⁶⁹ Improved Forest Management

⁷⁰ <http://www.unfccc.int>

⁷¹ <http://www.v-c-s.org>

⁷² Ver item 2.2.2.12 do capítulo anterior desta dissertação

⁷³ Climate, Community and Biodiversity Standard



Figura 11 – Localização dos projetos florestais de carbono registrados nos regimes regulados e voluntários do mercado de carbono em 2011

Fonte: Forest Carbon Portal⁷⁴

3.2.2 Etapas para o desenvolvimento de um projeto de carbono

Embora existam peculiaridades entre as etapas de desenvolvimento de projetos de carbono no âmbito de cada regime do mercado de carbono, em geral, as etapas são muito similares e baseiam-se nos procedimentos estabelecidos pelo MDL.

3.2.2.1 Ciclo de projeto no âmbito do MDL

Um projeto no âmbito do MDL passa por sete estágios distintos (CGEE, 2008):

- (1) Elaboração do *Documento de Concepção do Projeto* (CDP) baseado em uma metodologia aprovada e aplicável ao projeto;
- (2) Validação: o projeto é auditado por uma Entidade Operacional Designada (auditor habilitado), contratada pelo proponente do projeto, que verifica se o projeto está em conformidade com as regulações vigentes;

⁷⁴ <http://www.forestcarbonportal.com>

- (3) Aprovação pela *Autoridade Nacional Designada*, no Brasil representada pela Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima: verifica-se a contribuição do projeto para o desenvolvimento sustentável do país e sua participação voluntária;
- (4) Submissão do projeto ao *Conselho Executivo do MDL* para registro;
- (5) Monitoramento;
- (6) Verificação;
- (7) Emissão das *Reduções Certificadas de Emissão (CER⁷⁵*, sigla em inglês)

A Figura 12 ilustra o ciclo descrito acima:

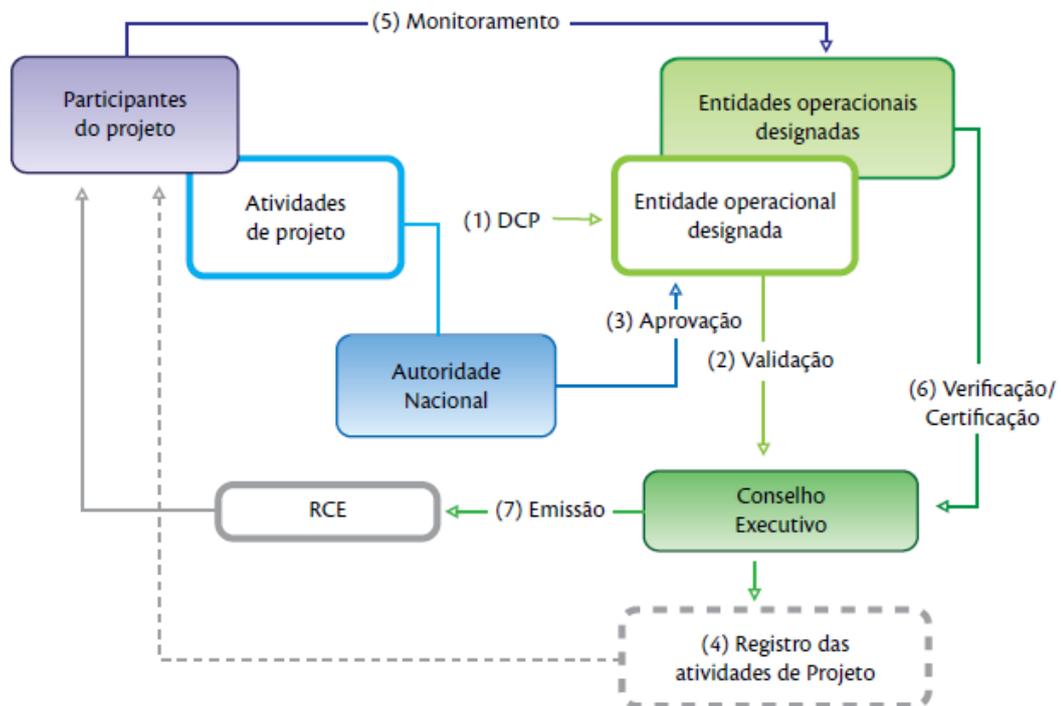


Figura 12 – Ciclo de um projeto no âmbito do MDL

Fonte: CGEE (2008)

3.2.2.2 Ciclo de projeto no âmbito do VCS

Os projetos desenvolvidos no âmbito do VCS seguem os mesmos passos dos desenvolvidos no âmbito do MDL, com a exceção dos passos (3) e (4) acima. Os projetos VCS, ou desenvolvidos no âmbito de qualquer outro padrão do mercado voluntário não requerem aprovação da *Autoridade Nacional Designada*. O projeto é

⁷⁵ Certified Emission Reduction

registrado pelo VCS, ficando disponível publicamente em seu banco de dados de projeto⁷⁶ (VCS, 2011b). O processo de aprovação dos projetos no âmbito do VCS é, portanto, mais rápido se comparado ao MDL.

Atualmente, as VCU⁷⁷ emitidas pelos projetos no âmbito do VCS são registradas em uma das três plataformas eletrônicas disponíveis: *NYSE Blue*, *Caisse des Dépôts*; e *Markit*, podendo ser transacionados entre elas. O emprego dessas plataformas visa maior transparência da origem, verificação, permanência e rastreabilidade das VCUs, através de uma robusta cadeia de custódia, de forma a se evitar a dupla-contagem⁷⁸ dos créditos de carbono.

3.3 Material e Métodos

A quantificação do carbono adicional resultante da conversão da EC para o MF-EIR foi realizada através do emprego da metodologia desenvolvida no capítulo anterior desta dissertação.

3.3.1 Tratamento dos dados

A fim de se inferir sobre o impacto dos tratamentos nos estoques de carbono da biomassa viva em cada área, os dados amostrados foram divididos em dois grupos: (1) envolvendo todos os indivíduos arbóreos com DAP ≥ 25 cm da área total de 24,5 ha amostrada em cada tratamento, com e sem valor comercial, e os indivíduos arbóreos com DAP ≥ 10 cm com valor comercial; e (2) envolvendo os indivíduos arbóreos com DAP ≥ 10 cm das parcelas de 5,25 ha instaladas dentro da área total de cada tratamento, de 24,5 ha.

Para o primeiro grupo, o efeito do crescimento das árvores, bem como sua mortalidade, foi mapeado através dos dados inventariados, não obstante, não foram incluídas nas análises desse grupo árvores recrutadas, uma vez que a amostragem na área total de 24,5 ha limitou-se aos indivíduos arbóreos não comerciais com DAP ≥ 25 cm e comerciais com DAP ≥ 10 cm. Dessa forma, o cadastro de novos

⁷⁶ VCS Project Database

⁷⁷ Verified Carbon Units

⁷⁸ Basicamente, a utilização do mesmo crédito mais de uma vez

indivíduos nas fichas de campo não reflete necessariamente o recrutamento do mesmo entre os anos do último inventário e do atual.

Para o segundo grupo, onde todos os indivíduos arbóreos com $DAP \geq 10$ cm foram amostrados, os novos indivíduos cadastrados na ficha de campo nos inventários posteriores ao primeiro foram considerados como recrutados no ano de seus cadastros, desde que apresentassem DAP inferior a 15 cm.

O segundo grupo representa de forma natural os processos de sequestro de carbono envolvendo o crescimento dos indivíduos arbóreos ao longo do tempo, o recrutamento de novos indivíduos e a perda de carbono do reservatório arbóreo vivo devido à mortalidade.

É comum que nos levantamentos de campo algumas árvores não sejam encontradas durante alguns inventários, criando lacunas nos valores de seus DAP. Os valores faltantes de DAP desses indivíduos foram estimados assumindo-se a linearidade de seus crescimento, baseando-se nos valores de DAP anterior e posterior, em conformidade com a ferramenta metodológica A/R "Estimation of carbon stocks and change in carbon stocks of trees and shrubs in A/R CDM project activities" (UNFCCC, 2010c).

3.3.2 Estimativa do carbono

De forma geral, seguindo a metodologia desenvolvida, o primeiro passo para o cálculo do carbono adicional foi a quantificação da biomassa arbórea seca acima e abaixo do solo, de cada indivíduo arbóreo amostrado nos dois grupos, definidos pelo DAP mínimo e por apresentar ou não valor comercial.

A quantificação da biomassa seca arbórea acima do solo foi baseada nas medições do DAP em cada ano em que ocorreu o inventário florestal e na densidade básica das espécies, obtidas dos levantamentos de Zanne et al. (2009). Na ausência de valores da densidade básica da espécie, foram utilizados os valores médios do gênero ou da família da espécie. Esses valores foram empregados na equação alométrica para estimativa da biomassa seca em florestas tropicais úmidas (precipitação anual entre 1.500 e 3.500 mm) desenvolvida por Chave et al. (2005) e apontada como possivelmente a mais robusta disponível na literatura atual (MEDJIBE et al., 2011):

$$\ln(AGB) = -1,576 + 2,179 \cdot \ln(D) + 0,198 \cdot (\ln(D))^2 - 0,0272 \cdot (\ln(D))^3 + 1,036 \cdot \ln(\rho) \quad (3.1)$$

Onde:

| | |
|------------|---|
| <i>ABG</i> | Biomassa seca acima do solo, kg m.s. |
| <i>D</i> | DAP, cm |
| ρ | Densidade básica da madeira, Mg m ⁻³ |

Para as espécies não-identificadas, foi aplicado a densidade da madeira média de cada tratamento, ponderada pelo número de árvores de cada espécie e para árvores maiores de 156 cm de DAP, a biomassa seca cima do solo foi extrapolada, seguindo o método proposto por Medjibe et al. (2011).

Os valores da biomassa seca acima do solo foram transformados em toneladas de matéria seca por hectare.

A biomassa seca abaixo do solo foi estimada com a equação alométrica para florestas tropicais desenvolvida por Cairns et al. (1997) e recomendada pelo IPCC (2003), baseada na biomassa seca acima do solo:

$$\ln(Y) = -1,0587 + 0,8836 \cdot \ln(BAS)] \quad (3.2)$$

Onde:

| | |
|------------|--|
| <i>Y</i> | Biomassa seca abaixo do solo, Mg m.s. ha ⁻¹ |
| <i>BAS</i> | Biomassa seca acima do solo, Mg m.s. ha ⁻¹ |

Os valores da biomassa seca acima e abaixo do solo por hectare foram somados por ano e tratamento e multiplicados pela fração carbono utilizada pelas metodologias florestais de projetos de crédito de carbono aprovadas pela UNFCCC, de 0,5, resultando em valores expressos em C ha⁻¹ para cada ano do inventário florestal em cada tratamento.

Esses valores foram então multiplicados pela razão dos pesos moleculares do CO₂ e do carbono, 44/12, transformando-os para a unidade CO₂-e ha⁻¹, a unidade utilizada para a quantificação dos créditos de carbono.

A forma real e a sequência dos cálculos e transformações dos dados para a estimativa do volume de créditos de carbono gerados pelo projeto seguiu os passos definidos pela metodologia apresentada no capítulo anterior.

3.3.3 Créditos de carbono do projeto

Os créditos de carbono do projeto foram estimados em um cenário *ex post*, seguindo a metodologia proposta e considerando o ano de início da atividade do projeto como o subsequente ao da exploração florestal, portanto, 1994, ano que se tem informações sobre o impacto dos tratamentos na dinâmica dos estoques de carbono da floresta.

Assumiu-se que a primeira verificação ocorreu no terceiro ano de atividade do projeto, 1996, a segunda, cinco anos depois, em 2001, e a terceira em 2006.

Uma vez que os inventários florestais não foram realizados anualmente e em conformidade com a ferramenta "Estimation of carbon stocks and change in carbon stocks of trees and shrubs in A/R CDM project activities" (UNFCCC, 2011b), assumiu-se a linearidade do crescimento da biomassa das árvores, a fim de ser obter um valor para os volumes anuais de CO₂-e em cada ano e para cada tratamento do projeto.

A estimativa do volume de CO₂-e dos tratamentos foi realizada baseada no grupo de dados onde as árvores inventariadas apresentavam DAP ≥ 10 cm, independentemente de apresentarem ou não valor comercial, de forma a representar o recrutamento de indivíduos arbóreos nas áreas de cada tratamento, sendo expressa em CO₂-e ha⁻¹.

Assumiu-se que as emissões do projeto foram inferiores a 5% das remoções antrópicas líquidas de GEE por sumidouros no cenário do projeto, sendo, portanto, negligenciadas em conformidade com a ferramenta "Tool for testing significance of GHG emissions in A/R CDM project activities" (UNFCCC, 2007a). Ainda, o vazamento do projeto, incluindo o vazamento de mercado, foi considerado zero e as emissões de GEE resultantes do desmatamento da floresta para abertura de estradas, ramais de arraste e pátios foram consideradas inclusas nas variações observadas entre os volumes da biomassa acima do solo pré e pós-exploração inventariados.

A porcentagem dos créditos de carbono não comercializáveis, resultado da análise do risco de não-permanência dos créditos é abordada no capítulo seguinte.

3.3.4 Análise estatística dos dados

Primeiramente, dividiu-se a parcela de 5,25 ha (700 x 75 m) de cada tratamento (onde o inventário amostrou todos os indivíduos arbóreos com DAP \geq 10 cm, independentemente de apresentarem ou não valor comercial) em 28 sub-parcelas de 1.875 m² (25 x 75 m) e com o emprego das equações 3.1 e 3.2 o volume de carbono por hectare foi estimado para cada sub-parcela e para cada ano do inventário florestal subsequente ao da exploração madeireira.

Em seguida, foram realizados testes estatísticos para avaliar diferenças estatísticas entre o estoque de carbono pré-exploração (1993) e os estoques de carbono pós-exploração, ao ano, de forma a compor uma série de oito análises (1993 vs. 1994; 1993 vs. 1995; 1993 vs. 1996; 1993 vs. 1998; 1993 vs. 2000; 1993 vs. 2003; 1993 vs. 2006; e 1993 vs. 2009).

Estes testes foram ora testes t Student pareados, ora testes Wilcoxon, dependendo da distribuição dos dados. A distribuição dos dados foi avaliada através do teste de normalidade de Shapiro-Wilk, indicado para conjuntos de dados inferiores a 2.000 observações. Quando observada normalidade dos dados, foi aplicado o teste t Student pareado, caso contrário, foi aplicado o teste Wilcoxon. Neste caso, quando observado assimetria da distribuição ("skewness", em inglês), variando entre -2 e 2, o teste Wilcoxon empregado foi o das ordens assinadas ("Signed Ranks", em inglês), caso contrário foi empregado o teste Wilcoxon do sinal ("Sign", em inglês).

Mesmo assim, cada comparação foi avaliada pelos três testes pareados, uma vez que o baixo esforço amostral pode comprometer a inferência sobre a distribuição dos dados (ALTMAN; BLAND, 2005), além do fato dos testes Wilcoxon apresentarem baixa habilidade de detectarem significância e potencial de levarem à falsas detecções de significância (SMUCKER; ALLAN; CARTERETTE, 2007). Ainda, gráficos ilustrando as médias e os intervalos de confiança (probabilidade de 95%) dos valores encontrados para os estoques de carbono por hectare para cada ano em que ocorreu o inventário florestal foram gerados.

Todas as análises foram realizadas com o programa estatístico SAS v.9.2 (SAS, 2008).

3.3.4.1 Comparação do carbono entre os tratamentos MF-EIR e EC

Um teste pareado foi conduzido para comparar os volumes de carbono da biomassa arbórea entre os tratamentos de MF-EIR e EC. O teste, no entanto, foi aplicado aos volumes estimados por modelos específicos de cada tratamento.

Os valores dos estoques de carbono das 28 sub-parcelas de 1.875 m² (25 x 75 m) para cada ano em que ocorreu o inventário florestal, mencionados acima, foram utilizados em uma análise de regressão. Dados discrepantes (*outliers*) identificados foram excluídos.

Os modelos foram estimados para cada tratamento baseando-se nas variações (taxa de crescimento ou decréscimo) dos volumes de carbono observadas entre os inventários em relação ao estoque de carbono de 1994, primeiro ano do inventário pós-exploração. Esse procedimento foi adotado porque os estoques iniciais do carbono na biomassa arbórea viva variavam entre os tratamentos.

Uma vez definido os modelos, estes foram utilizados para se obter valores estimados do incremento ou decréscimo do volume de carbono para os anos posteriores ao da exploração madeireira para ambos os tratamentos, como forma de harmonização dos dados. Por fim, verificou-se a normalidade desse conjunto de dados através de um teste de Shapiro-Wilk e, uma vez constatada a normalidade da distribuição, os valores estimados pelos modelos foram comparados através de um teste t Student pareado visando verificar diferença estatística entre os tratamentos.

3.4 Resultados

3.4.1 Dinâmica dos estoques de carbono dos tratamentos

Os valores encontrados para os estoques de carbono nas áreas dos tratamentos, expressos por hectare, são apresentados nas Tabelas 19 e 20, para os grupos amostrados 1 e 2.

Tabela 19 – Estoques de carbono e CO₂-e e sua equivalência em relação ao estoque inicial pré-atividade do projeto (%), para o Grupo 1 (5,25 ha)

| Ano | Mg C ha ⁻¹ | | | Mg CO ₂ -e ha ⁻¹ | | | Porcentagem (%) | | |
|------|-----------------------|--------|-------|--|--------|--------|-----------------|--------|-----|
| | Contr. | MF-EIR | EC | Contr. | MF-EIR | EC | Contr. | MF-EIR | EC |
| 1993 | 110,23 | 125,83 | 95,07 | 404,18 | 461,38 | 348,58 | 100 | 100 | 100 |
| 1994 | 111,11 | 95,68 | 66,20 | 407,41 | 350,83 | 242,74 | 101 | 76 | 70 |
| 1995 | 111,87 | 99,04 | 67,83 | 410,19 | 363,15 | 248,73 | 101 | 79 | 71 |
| 1996 | 112,75 | 101,10 | 68,34 | 413,43 | 370,71 | 250,58 | 102 | 80 | 72 |
| 1998 | 114,64 | 103,44 | 69,75 | 420,36 | 379,28 | 255,77 | 104 | 82 | 73 |
| 2000 | 116,26 | 106,89 | 70,88 | 426,27 | 391,94 | 259,90 | 105 | 85 | 75 |
| 2003 | 122,70 | 112,08 | 73,57 | 449,90 | 410,96 | 269,76 | 111 | 89 | 77 |
| 2006 | 108,40 | 111,76 | 73,42 | 397,46 | 409,80 | 269,22 | 98 | 89 | 77 |
| 2009 | 114,37 | 117,84 | 75,83 | 419,35 | 432,09 | 278,05 | 104 | 94 | 80 |

Tabela 20 – Estoques de carbono e CO₂-e e sua equivalência em relação ao estoque inicial pré-atividade do projeto (%), para o Grupo 2 (24,5 ha)

| Ano | Mg C ha ⁻¹ | | | Mg CO ₂ -e ha ⁻¹ | | | Porcentagem (%) | | |
|-------------|-----------------------|--------|--------|--|--------|--------|-----------------|--------|-----|
| | Contr. | MF-EIR | EC | Contr. | MF-EIR | EC | Contr. | MF-EIR | EC |
| 1993 | 98,89 | 101,68 | 107,33 | 362,61 | 372,82 | 393,55 | 100 | 100 | 100 |
| 1994 | 99,67 | 81,23 | 73,81 | 365,46 | 297,83 | 270,63 | 101 | 80 | 69 |
| 1995 | 100,36 | 83,09 | 75,24 | 67,98 | 304,66 | 275,88 | 101 | 82 | 70 |
| 1996 | 100,73 | 84,02 | 75,58 | 369,35 | 308,08 | 277,11 | 102 | 83 | 70 |
| 1998 | 101,63 | 86,35 | 75,63 | 372,66 | 316,63 | 277,32 | 103 | 85 | 70 |
| 2000 | 100,98 | 88,02 | 75,12 | 370,25 | 322,73 | 275,45 | 102 | 87 | 70 |
| 2003 | 97,93 | 88,88 | 73,96 | 359,09 | 325,91 | 271,19 | 99 | 87 | 69 |
| 2006 | 93,64 | 87,55 | 68,35 | 343,33 | 321,00 | 250,61 | 95 | 86 | 64 |
| 2009 | 89,77 | 89,65 | 68,40 | 329,15 | 328,73 | 250,80 | 91 | 88 | 64 |

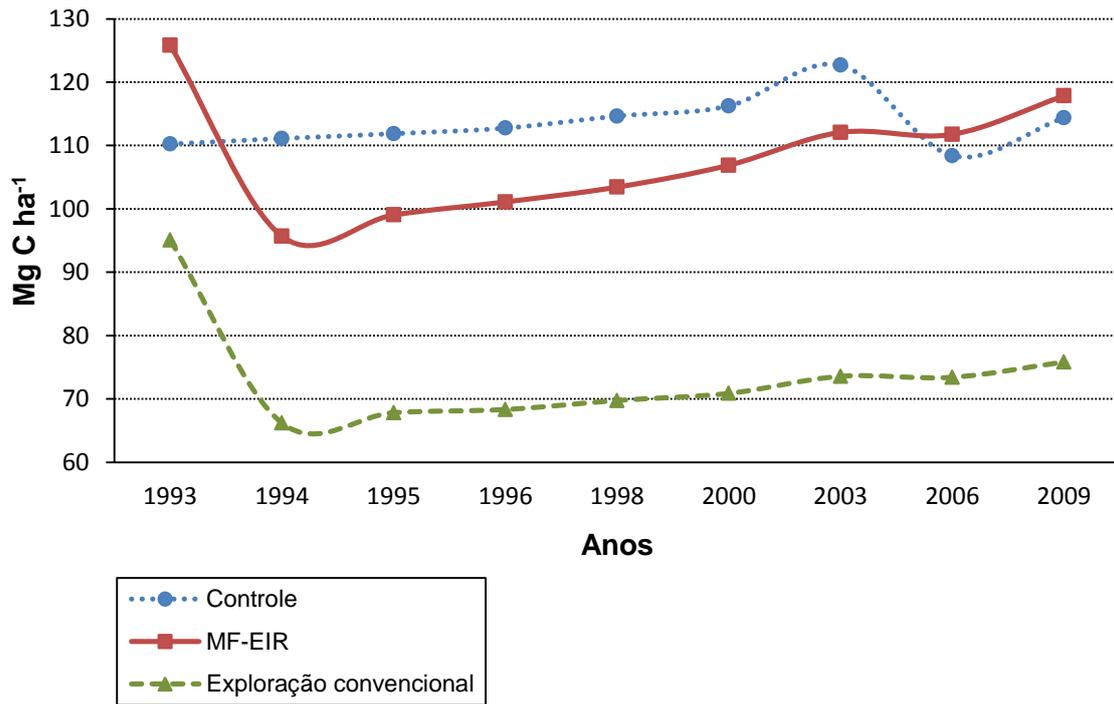


Figura 13 – Dinâmica do carbono total em cada tratamento para o Grupo 1 (5,25 ha), valores absolutos

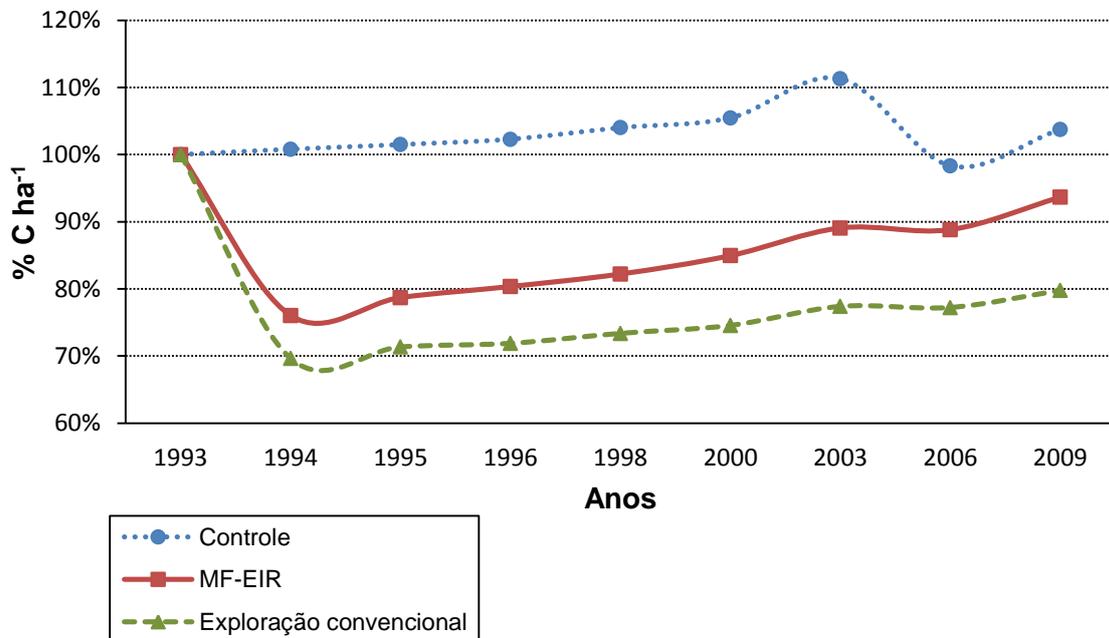


Figura 14 – Dinâmica do carbono total em cada tratamento para o Grupo 1 (5,25 ha), valores relativos

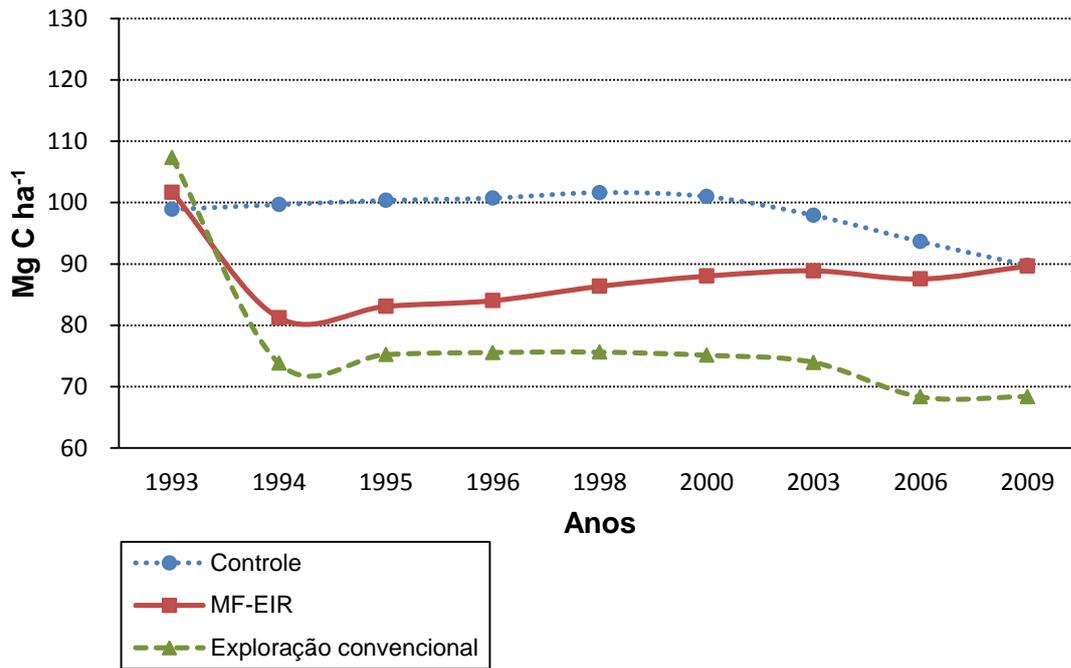


Figura 15 – Dinâmica do carbono total em cada tratamento para o Grupo 2 (24,5 ha), valores absolutos

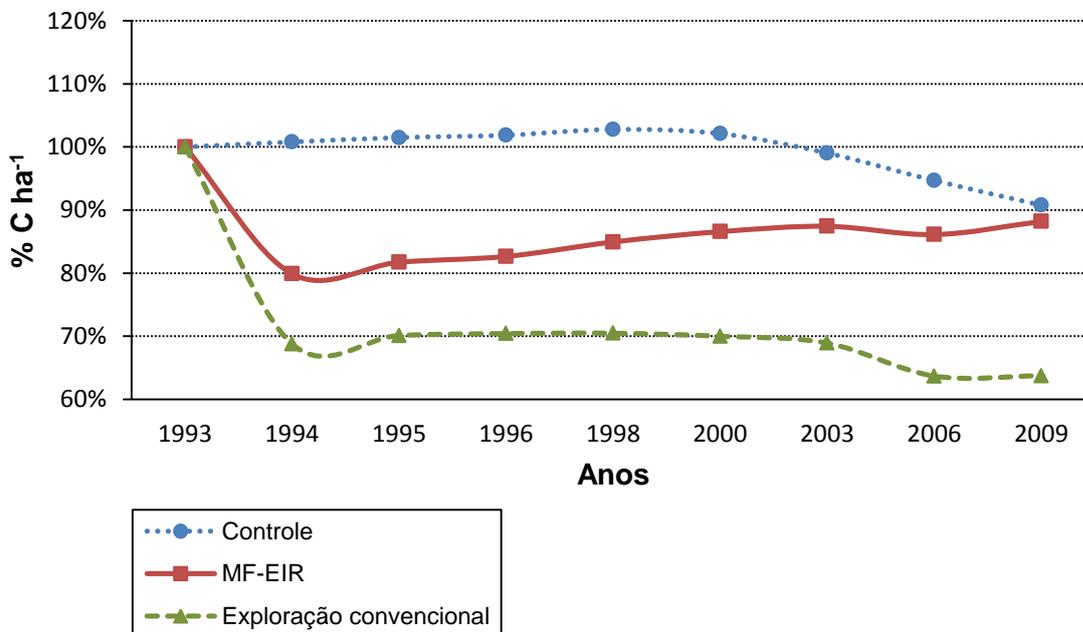


Figura 16 – Dinâmica do carbono total em cada tratamento para o Grupo 2 (24,5 ha), valores relativos

As Figuras 13, 14, 15 e 16 ilustram a dinâmica do carbono total nas áreas dos tratamentos e suas variações em valores absolutos e relativos para cada grupo amostrado. Ao analisá-las, fica claro o impacto positivo do MF-EIR sobre a dinâmica do carbono quando comparado à EC. O balanço do carbono em função do crescimento pós-exploratório, mortalidade e recrutamento sob o MF-EIR foram superiores quando comparados à EC (Figuras 13 e 14). O balanço do carbono em função do crescimento pós-exploratório e mortalidade para os indivíduos arbóreos amostrados do Grupo 2 (24,5 ha) o MF-EIR também foram superiores quando comparados à EC (Figuras 15 e 16).

3.4.2 Comparação entre os estoques de carbono pré e pós-exploração

O fato das distribuições das diferenças entre os estoques de carbono analisados entre o ano pré-exploração e os anos pós-exploração, para algumas comparações, apresentarem normalidade e para outras não, resultou no uso de diferentes testes estatísticos para dados pareados dentro de um mesmo tratamento.

Essa variedade de testes implicou em resultados que, a princípio, seriam inconsistentes com a realidade, no entanto, ao analisar seus resultados teste a teste, independente de seus preceitos estatísticos, observa-se certa consistência com o esperado.

Para as comparações entre os anos do tratamento MF-EIR, o emprego correto dos testes apontam ausência de diferença estatística para as comparações com o ano de 2006 e 2009, pelo teste t de Student ($P = 0,0505$ e $P = 0,2598$, respectivamente). Analisando os resultados teste a teste, no entanto, essa ausência é notada desde a comparação de 2000 pelo teste de Wilcoxon do sinal ($P = 0,1849$) e desde 2003 pelo teste de Wilcoxon das ordens assinaladas ($P = 0,0510$) (Tabela 21).

Tabela 21 – Resultados dos testes de Shapiro-Wilk, da assimetria da distribuição dos dados e dos testes estatísticos pareados aplicados de t Student e Wilcoxon para as comparações entre os estoques de carbono da biomassa arbórea viva nos anos de inventário florestal no tratamento MF-EIR

| Comparação | Valor de P do teste Shapiro-Wilk | Assimetria | Teste | Valor de P |
|-------------------|---|-------------------|--------------|-------------------|
| 1993 vs. 1994 | 0,0023 | 1,1089 | t Student | < 0,0001 |
| | | | Signed Ranks | < 0,0001 |
| | | | Sign | < 0,0001 |
| 1993 vs. 1995 | 0,0043 | 1,1486 | t Student | < 0,0001 |
| | | | Signed Ranks | < 0,0001 |
| | | | Sign | 0,0002 |
| 1993 vs. 1996 | 0,0042 | 1,1290 | t Student | 0,0002 |
| | | | Signed Ranks | < 0,0001 |
| | | | Sign | 0,0037 |
| 1993 vs. 1998 | 0,0198 | 1,0280 | t Student | 0,0005 |
| | | | Signed Ranks | 0,0002 |
| | | | Sign | 0,0125 |
| 1993 vs. 2000 | 0,0354 | 0,9727 | t Student | 0,0024 |
| | | | Signed Ranks | 0,0029 |
| | | | Sign | 0,1849 |
| 1993 vs. 2003 | 0,1851 | 0,6654 | t Student | 0,0273 |
| | | | Signed Ranks | 0,0510 |
| | | | Sign | 0,3449 |
| 1993 vs. 2006 | 0,1249 | 0,5684 | t Student | 0,0505 |
| | | | Signed Ranks | 0,1070 |
| | | | Sign | 0,3449 |
| 1993 vs. 2009 | 0,1743 | 0,4304 | t Student | 0,2598 |
| | | | Signed Ranks | 0,3842 |
| | | | Sign | 0,8506 |

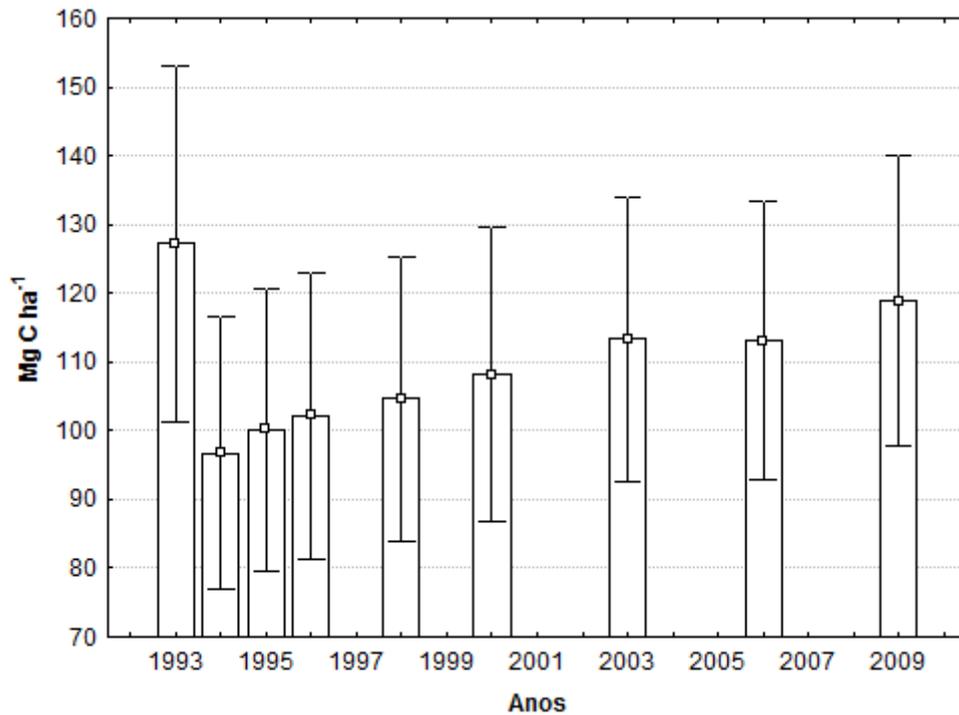


Figura 17 – Média dos estoques de carbono da biomassa arbórea viva nas 28 sub-parcelas amostradas e seus intervalos de confiança (probabilidade de 95%) para cada ano do inventário florestal no tratamento MF-EIR

Para as comparações entre os anos do tratamento EC o emprego correto dos testes aponta ausência de diferença estatística para as comparações desde 2003, pelo teste de Wilcoxon dos sinais ($P = 0,1849$). Analisando os resultados teste a teste, no entanto, essa ausência é notada pelos teste t Student e Wilcoxon das ordens assinaladas apenas para a comparação com o ano de 2009 e ainda, cabe ressaltar, com baixos valores de P ($P = 0,0536$ e $P = 0,0540$, respectivamente) (Tabela 22).

Tabela 22 – Resultados dos testes de Shapiro-Wilk, da assimetria da distribuição dos dados e dos testes estatísticos pareados aplicados de t Student e Wilcoxon para as comparações entre os estoques de carbono da biomassa arbórea viva nos anos de inventário florestal no tratamento EC

| Comparação | Valor de P do teste Shapiro-Wilk | Assimetria | Teste | Valor de P |
|-------------------|---|-------------------|--------------|-------------------|
| 1993 vs. 1994 | < 0,0001 | 3,7437 | t Student | 0,0038 |
| | | | Signed Ranks | < 0,0001 |
| | | | Sign | < 0,0001 |
| 1993 vs. 1995 | < 0,0001 | 3,7343 | t Student | 0,0060 |
| | | | Signed Ranks | < 0,0001 |
| | | | Sign | 0,0002 |
| 1993 vs. 1996 | < 0,0001 | 3,7301 | t Student | 0,0067 |
| | | | Signed Ranks | < 0,0001 |
| | | | Sign | 0,0002 |
| 1993 vs. 1998 | < 0,0001 | 3,6769 | t Student | 0,0098 |
| | | | Signed Ranks | < 0,0001 |
| | | | Sign | 0,0125 |
| 1993 vs. 2000 | < 0,0001 | 3,6659 | t Student | 0,0126 |
| | | | Signed Ranks | 0,0002 |
| | | | Sign | 0,0357 |
| 1993 vs. 2003 | < 0,0001 | 3,3383 | t Student | 0,0291 |
| | | | Signed Ranks | 0,0103 |
| | | | Sign | 0,1849 |
| 1993 vs. 2006 | < 0,0001 | 3,0008 | t Student | 0,0289 |
| | | | Signed Ranks | 0,0185 |
| | | | Sign | 0,1849 |
| 1993 vs. 2009 | < 0,0001 | 2,7115 | t Student | 0,0536 |
| | | | Signed Ranks | 0,0540 |
| | | | Sign | 0,3449 |

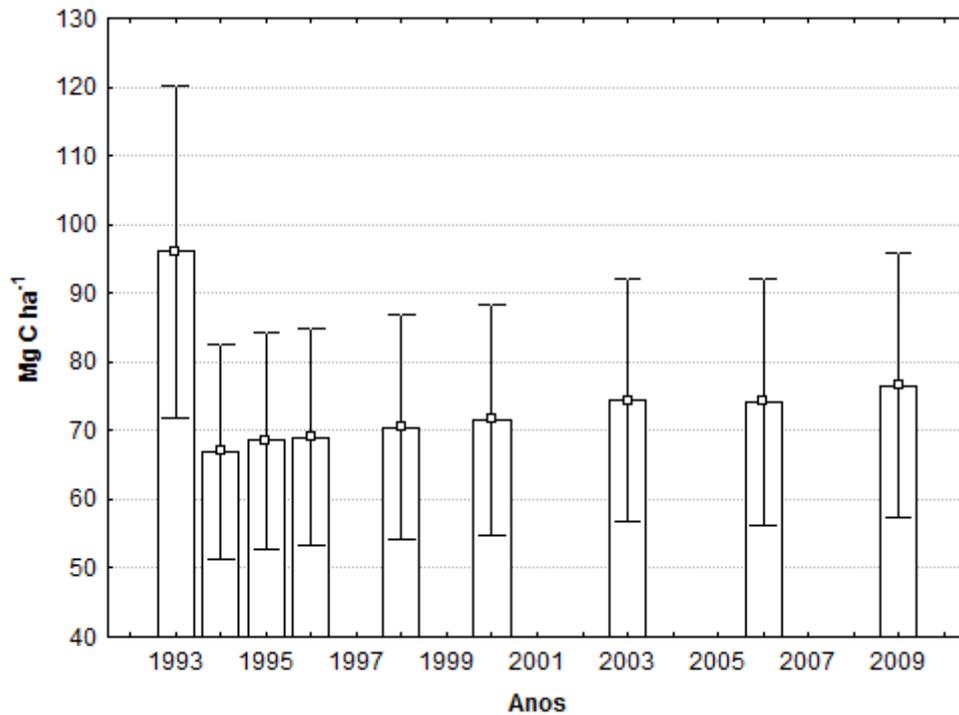


Figura 18 – Média dos estoques de carbono da biomassa arbórea viva nas 28 sub-parcelas amostradas e seus intervalos de confiança (probabilidade de 95%) para cada ano do inventário florestal no tratamento EC

Para as comparações entre os anos do tratamento de controle, tanto o emprego correto dos testes baseados em seus preceitos estatísticos, quanto os demais testes, apresentaram os mesmos resultados, com exceção do teste Wilcoxon dos sinais para o ano de 2009. Ao contrário do esperado, os testes indicaram diferença significativa entre os estoques de carbono de 1993 e os de 1994 a 2003. A ausência de diferença foi notada apenas para os anos 2006 ($P = 0,7427$, teste t Student) e 2009 ($P = 0,4672$, teste t Student), considerando a exceção mencionada anteriormente (Tabela 23).

Tabela 23 – Resultados dos testes de Shapiro-Wilk, da assimetria da distribuição dos dados e dos testes estatísticos pareados aplicados de t Student e Wilcoxon para as comparações entre os estoques de carbono da biomassa arbórea viva nos anos de inventário florestal no tratamento de controle

| Comparação | Valor de P do teste Shapiro-Wilk | Assimetria | Teste | Valor de P |
|-------------------|---|-------------------|--------------|-------------------|
| 1993 vs. 1994 | 0,0797 | 0,9740 | t Student | 0,0351 |
| | | | Signed Ranks | 0,0198 |
| | | | Sign | 0,0094 |
| 1993 vs. 1995 | 0,7202 | 0,1680 | t Student | 0,0073 |
| | | | Signed Ranks | 0,0068 |
| | | | Sign | 0,0290 |
| 1993 vs. 1996 | 0,4615 | - 0,4750 | t Student | 0,0007 |
| | | | Signed Ranks | 0,0006 |
| | | | Sign | 0,0755 |
| 1993 vs. 1998 | 0,3099 | - 0,6538 | t Student | < 0,0001 |
| | | | Signed Ranks | < 0,0001 |
| | | | Sign | < 0,0001 |
| 1993 vs. 2000 | 0,1373 | 0,5931 | t Student | 0,0008 |
| | | | Signed Ranks | 0,0006 |
| | | | Sign | 0,0025 |
| 1993 vs. 2003 | 0,0304 | 1,2134 | t Student | < 0,0001 |
| | | | Signed Ranks | < 0,0001 |
| | | | Sign | < 0,0001 |
| 1993 vs. 2006 | 0,0001 | 2,0264 | t Student | 0,7427 |
| | | | Signed Ranks | 0,2348 |
| | | | Sign | 0,0755 |
| 1993 vs. 2009 | 0,0006 | 1,7420 | t Student | 0,4672 |
| | | | Signed Ranks | 0,0725 |
| | | | Sign | 0,0290 |

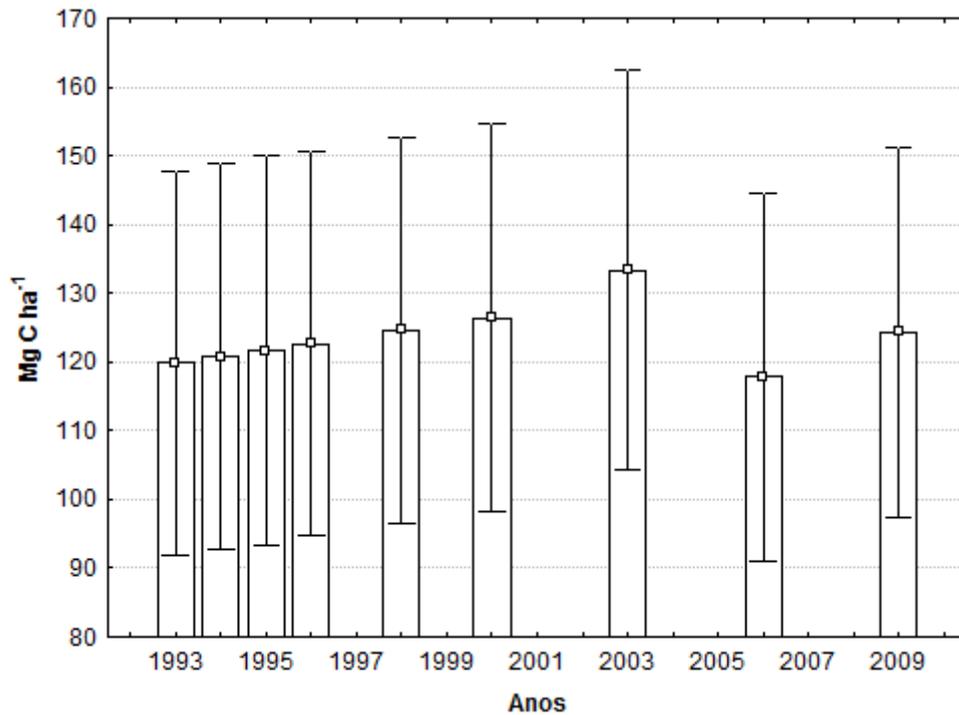


Figura 19 – Média dos estoques de carbono da biomassa arbórea viva nas 28 sub-parcelas amostradas e seus intervalos de confiança (probabilidade de 95%) para cada ano do inventário florestal no tratamento de controle

Ainda, cabe destacar que devido à grande amplitude do intervalo de confiança calculado para uma probabilidade de 95% (Figuras 17, 18, 19), é razoável aceitar uma certa inconsistência de respostas entre os testes estatísticos pareados aplicados, além da influência das limitações dos testes (SMUCKER; ALLAN; CARTERETTE, 2007).

3.4.3 Comparação entre os tratamento MF-EIR e EC

A análise de regressão dos dados observados em cada sub-parcela e em cada ano resultou em modelos lineares para o tratamento MF-EIR e EC (Figuras 20 e 21), respectivamente:

$$Y = 1,48817x + 0,35975 \quad (3.3)$$

$$Y = 0,58655x + 0,44846 \quad (3.4)$$

Onde:

Y Variação do carbono da biomassa arbórea viva em relação ao primeiro ano após a exploração madeireira, Mg ha

x Ano após a exploração madeireira

Excluindo-se os dados discrepantes (*outliers*), o número de dados utilizados para gerar os modelos foi 221 para o MF-EIR e 215 para o da EC, distribuídos ao longo de oito anos.

O coeficiente de determinação dos modelos foi baixo, $R^2 = 0,38$ para o modelo do MF-EIR e $R^2 = 0,24$ para a modelo da EC. Não obstante, é natural que os coeficientes sejam baixos por ser um modelo linear que foi construído baseado nas variações dos estoques de carbono resultantes não somente do crescimento dos indivíduos arbóreos, mas também da mortalidade e do recrutamento, ao longo dos anos.

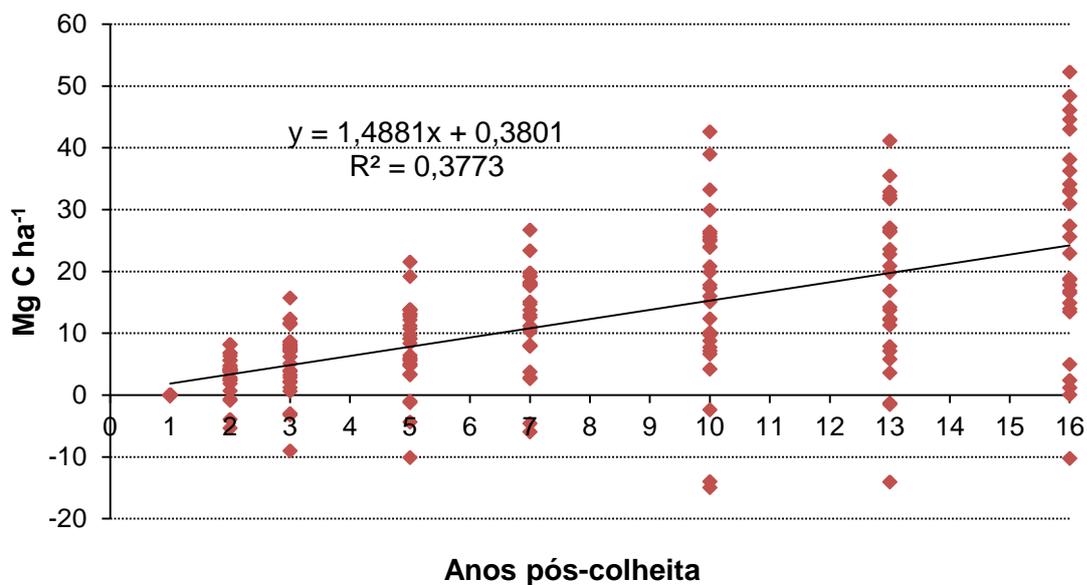


Figura 20 – Valores observados do estoque de carbono arbóreo amostrado nas sub-parcelas do tratamento MF-EIR e linha de tendência do modelo ajustado

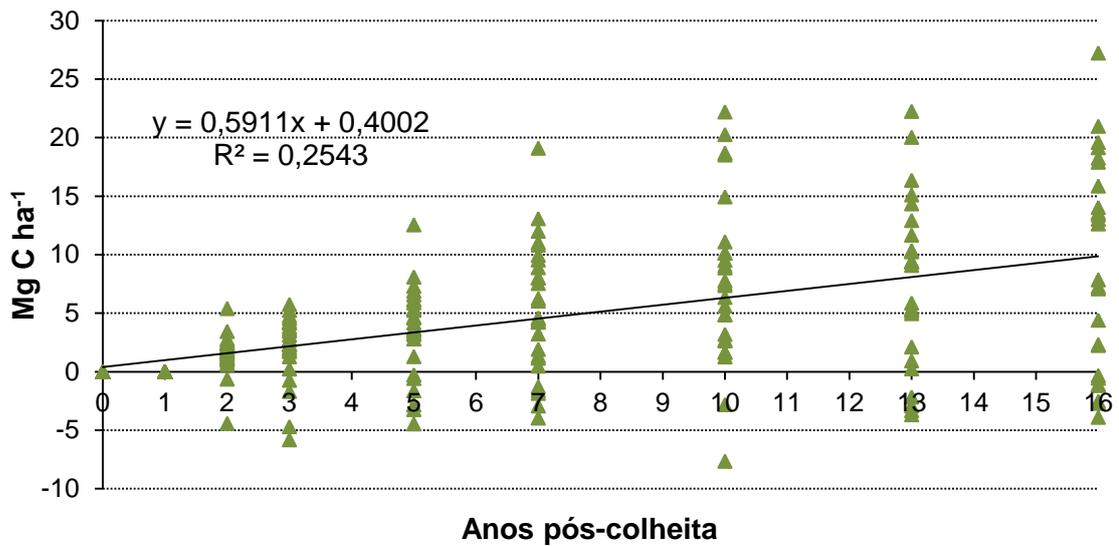


Figura 21 – Valores observados do estoque de carbono arbóreo amostrado nas sub-parcelas do tratamento EC e linha de tendência do modelo ajustado

O tratamento MF-EIR apresentou um incremento médio observado de $12,30 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e estimado de $13,01 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, enquanto que o tratamento EC apresentou um incremento médio observado de $5,42 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e estimado de $5,43 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

O teste de Shapiro-Wilk apontou normalidade dos dados ($P = 0,7136$) enquanto que o teste t Student pareado empregado na análise dos dados observados do tratamento MF-EIR e EC apontou diferença significativa ($P < 0,001$) para as variações, no caso, positivas, dos estoques de carbono do reservatório da biomassa arbórea viva pós-exploração madeireira entre os tratamentos (Tabela 24).

Tabela 24 – Variação dos estoques de carbono da biomassa arbórea viva pós-exploração madeireira em relação ao primeiro ano pós-exploração, valores observados (inventário florestal) e estimados (modelos), Mg C ha⁻¹

| Anos após exploração | Variação do carbono pós-exploração (Mg C ha ⁻¹) | | | |
|----------------------|---|----------|-----------|----------|
| | MF-EIR | | EC | |
| | Observado | Estimado | Observado | Estimado |
| 1 | 0 | 1,85 | 0 | 1,04 |
| 2 | 3,36 | 3,34 | 1,63 | 1,62 |
| 3 | 5,42 | 4,82 | 2,14 | 2,21 |
| 4 | - | 6,31 | - | 2,79 |
| 5 | 7,76 | 7,80 | 3,55 | 3,38 |
| 6 | - | 9,29 | - | 3,97 |
| 7 | 11,21 | 10,78 | 4,68 | 4,55 |
| 8 | - | 12,27 | - | 5,14 |
| 9 | - | 13,75 | | 5,73 |
| 10 | 16,40 | 15,24 | 7,37 | 6,31 |
| 11 | - | 16,73 | - | 6,90 |
| 12 | - | 18,22 | - | 7,49 |
| 13 | 16,08 | 19,71 | 7,22 | 8,07 |
| 14 | - | 21,19 | - | 8,66 |
| 15 | - | 22,68 | - | 9,25 |
| 16 | 22,16 | 24,17 | 9,63 | 9,83 |

3.4.4 Estimativa do volume de créditos de carbono do projeto

A Tabela 25 apresenta os valores estimados para o cálculo do volume de créditos de carbono gerados pelo projeto, seguindo a metodologia proposta. Somente o conjunto de dados do Grupo 1 (5,25 ha) foi utilizado para os cálculos, uma vez que é o único capaz de captar os efeitos do recrutamento na dinâmica do carbono nos tratamentos.

Tabela 25 – Estimativa dos créditos de carbono gerados pelo projeto de MF-EIR em função da linha de base, do fator de redução atrelado à exploração madeireira convencional e as remoções líquidas do projeto

| Ano | Ano do projeto | Remoção líquida da linha de base ⁷⁹ (Mg CO ₂ -e ha ⁻¹) | Fator de redução atrelado à EC ⁸⁰ | Remoção líquida de GEE do projeto ⁸¹ (Mg CO ₂ -e ha ⁻¹) | Remoções antrópicas líquidas de GEE por sumidouros ⁸² (Mg CO ₂ -e ha ⁻¹) | Créditos de carbono emitidos por verificação (Unidade) |
|------|----------------|---|--|--|---|--|
| 1993 | 0 | 461,38 | 0% | 461,38 | - | |
| 1994 | 1 | 244,31 | 30% | 350,83 | 106,53 | |
| 1995 | 2 | 259,12 | 29% | 363,15 | 104,03 | |
| 1996 | 3 | 266,49 | 28% | 370,71 | 104,22 | 104,22 |
| 1997 | 4 | 272,39 | 27% | 375,00 | 102,60 | |
| 1998 | 5 | 278,29 | 27% | 379,28 | 100,99 | |
| 1999 | 6 | 285,26 | 26% | 385,61 | 100,35 | |
| 2000 | 7 | 292,23 | 25% | 391,94 | 99,71 | |
| 2001 | 8 | 300,83 | 24% | 398,28 | 97,45 | 97,45 |
| 2002 | 9 | 309,43 | 23% | 404,62 | 95,19 | |
| 2003 | 10 | 318,03 | 23% | 410,96 | 92,92 | |
| 2004 | 11 | 317,52 | 23% | 410,57 | 93,05 | |
| 2005 | 12 | 317,01 | 23% | 410,19 | 93,17 | |
| 2006 | 13 | 316,51 | 23% | 409,80 | 93,30 | 93,30 |
| 2007 | 14 | 325,89 | 22% | 417,23 | 91,34 | |
| 2008 | 15 | 335,27 | 21% | 424,66 | 89,39 | |
| 2009 | 16 | 344,66 | 20% | 432,09 | 87,43 | |

As Figuras 22 e 23, a seguir, ilustram a dinâmica do estoque de carbono do projeto, em Mg CO₂-e, envolvendo a conversão da EC para o MF-EIR. A primeira ilustra os volumes dos estoques anuais de carbono nos reservatórios selecionados para o projeto e para o cenário da linha de base. A segunda ilustra a dinâmica do

⁷⁹ Calculada através do item 4 da metodologia proposta

⁸⁰ Calculado através do emprego da Equação 4 da metodologia proposta

⁸¹ Calculada através do item 5 da metodologia proposta

⁸² Calculada através do item 8 da metodologia proposta

carbono adicional, expressa em Mg CO₂-e, utilizado como base para as emissões dos créditos de carbono nos anos em que ocorrem as verificações.

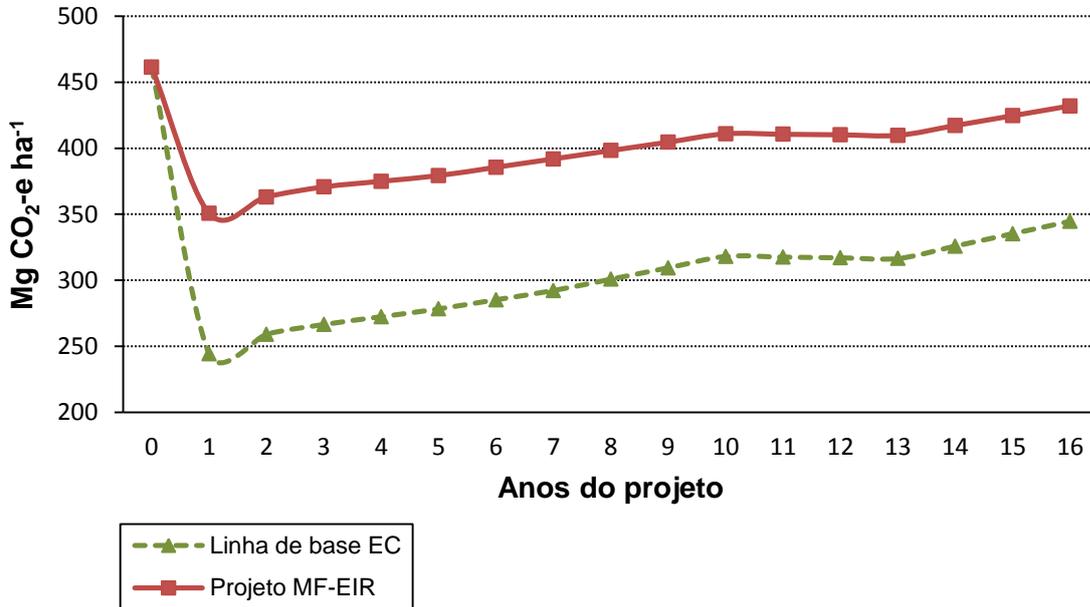


Figura 22 – Dinâmica do estoque de carbono observada para o projeto e estimada para a linha de base, em Mg CO₂-e

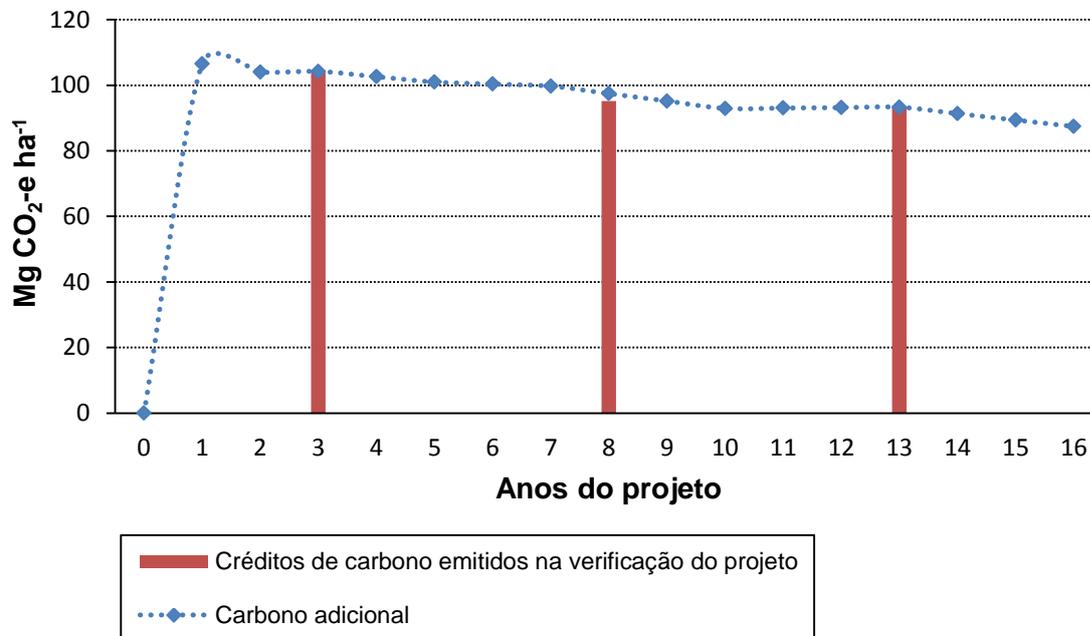


Figura 23 – Dinâmica do carbono adicional resultado da atividade do projeto e os volumes de créditos de carbono emitidos nas verificações

É importante destacar que o volume gerado de créditos não equivale, necessariamente, ao volume comercializado dos mesmos. Cada regime do mercado de carbono possui suas regras em relação aos volumes que podem ser transacionados, independente do estoque do carbono adicional verificado na área do projeto ao longo do período de crédito.

3.5 Discussão

Os valores encontrados para os estoques de carbono nas áreas dos tratamentos pré-exploração por hectare são muito semelhantes aos observados na literatura (IPCC, 2003, 2006; SAATCHI et al., 2007).

Os resultados obtidos em relação ao impacto dos diferentes tratamentos na dinâmica da biomassa arbórea viva remanescente na floresta e, conseqüentemente, sobre seu estoque de carbono, vão de encontro aos observados na literatura, onde os estoques observados para o tratamento de MF-EIR são superiores ao da EC e suas perdas de carbono, resultado da exploração madeireira, são inferiores, deixando claro o importante papel do manejo florestal como mitigador das mudanças do clima (JONHS; BARRETO; UHL; 1996; BARRETO; UHL; JOHNS, 1998; HOLMES et al., 2000; DYKSTRA, 2002; VIDAL; VIANA; BATISTA, 2002; BOLTZ; HOLMES; CARTER, 2003; VIDAL, 2004; KELLER et al., 2004; VALLE et al., 2007; PUTZ et al., 2008, 2011; MAZZEI et al., 2010; MACPHEARSON et al., 2010; 2011; MEDJIBE et al., 2011).

Muitos autores destacam que a EC, embora represente um impacto maior nos estoques residuais da biomassa florestal, quando comparada ao MF-EIR, também implica em um crescimento mais acelerado da floresta, resultado da abertura de clareiras e recrutamento de indivíduos pioneiros (PUTZ; PINARD, 1996; KELLER et al., 2004). Não obstante, os resultados observados indicam que, em relação ao balanço do carbono total na biomassa viva dos tratamento (envolvendo a regeneração florestal, a mortalidade e o recrutamento), o MF-EIR apresenta maiores taxas de sequestro de carbono, conforme as estimativas encontradas por Valle et al. (2007).

Os baixos valores dos coeficientes de determinação do modelo podem ser explicados pelo fato de um modelo linear não ser indicado para capturar,

conjuntamente, o crescimento dos indivíduos arbóreos, a mortalidade e o recrutamento pós-exploração madeireira. Para tanto, existem modelos ecológicos muito mais complexos, como os modelos SYMFLORE ou SIMFLORA e JABOWA (BOTKIN, 1993; KELLER et al., 2004; VALLE et al., 2007; AZEVEDO et al., 2008).

3.6 Conclusão

As variações entre estoques de carbono, expressos em Mg ha^{-1} , pré e pós-exploração observados em cada tratamento, quando comparados através da média e de seus respectivos intervalos de confiança entre as 28 sub-parcelas instaladas não foram diferenciados estatisticamente de forma satisfatória, uma vez que os valores para os desvios padrão observados foram relativamente altos. Ainda, a inconsistência da normalidade na distribuição dos dados comparados levou ao emprego de diferentes testes estatísticos para dados pareados, que dão tratamentos diferentes aos mesmos, implicando em resultados que não podem ser consistentemente comparados. Todavia, salvo as limitações encontradas, os estoques de carbono observados para o tratamento MF-EIR apresentaram taxas de manutenção e reposição superiores quando comparado ao tratamento EC.

Os modelos de regeneração gerados para os tratamentos MF-EIR e EC estimaram valores similares aos observados, não obstante, cabe destacar que modelos lineares são simplistas para explicar eventos combinados de crescimento, recrutamento e mortalidade, como pode ser observado em seus baixos coeficientes de determinação. Sugere-se, para estudos futuros, a adaptação de modelos ecológicos mais robustos, como o do SIMFLORA.

A comparação entre os tratamentos MF-EIR e EC em relação às suas taxas de regeneração apontou diferenças estatísticas significativas ($P < 0,001$). O tratamento MF-EIR apresentou um incremento médio observado de $12,30 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e estimado de $13,01 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, enquanto que o tratamento EC apresentou um incremento médio observado de $5,42 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e estimado de $5,43 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, para um período de 16 anos de regeneração pós-exploração.

Referências

ALTMAN, D.G.; BLAND, J.M. Statistics notes: the normal distribution. **BMJ**, London, v. 310, p. 298-310, 1995.

AZEVEDO, C.P.; SANQUETTA, C.R.; SILVA, J.N.M.; MACHADO, S.A.; SOUZA, C.R.; OLIVEIRA, M.M. Simulação de estratégias de manejo florestal na Amazônia com o uso do modelo SYMFOR. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 38, n. 1, p. 51-70, 2008.

BARRETO, P.; UHL, C.; JOHNS, J.C. **Os danos da exploração de madeira com e sem planejamento na Amazônia Oriental**. Belém: Imazon, 1998. 44 p.

BOLTZ, F.; HOLMES, P.T.; CARTER, D.R. Economic and environmental impacts of conventional and reduced-impact logging in Tropical South America: a comparative review. **Forest Policy and Economics**, Kidlington, v. 5, p. 69-81, 2003.

BOTKIN, D.B. **Forest dynamics: an ecological model**. New York: Oxford University Press, 1993. 309 p.

CAIRNS, M.A.; BROWN, S.; HELMER, E.H.; BAUMGARDNER, G.A. Root biomass allocation in the world's upland forests. **Oecologia**, New York, v. 111, p. 1-11. 1997.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Manual de capacitação sobre mudança climática e projetos de mecanismo do desenvolvimento limpo**. Brasília, 2008. 278 p.

CHAVE, J.; ANDALO, C.; BROWN, S.; CAIRNS, M.A.; CHAMBERS, J.Q.; EAMUS, D.; FÖLSTER, H.; FROMARD, F.; HIGUCHI, N.; KIRA, T.; LESCURE, J.P.; NELSON, B.W.; OGAWA, H.; PUIG, H.; RIÉRA, B.; YAMAKURA, T. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. **Oecologia**, New York, v. 145, p. 87-99, 2005.

DYKSTRA, D. P. Reduced impact logging: concepts and issues. In: FAO. **Applying reduced impact logging to advance sustainable forest management**. Bangkok, 2002. chap. 2, p. 23-39.

HAMILTON, K.; CHOKKALINGAM, U.; BENDANA, M. **State of the forest carbon markets 2009: taking root & branching out**. New York: Ecosystem Marketplace, 2010. 72 p.

HOLMES, T.P.; BLATE, G.M.; ZWEEDE, J.C.; PEREIRA JUNIOR, R.; BARRETO, P.; BOLTZ, F.; BAUCH, R. Financial costs and benefits of reduced-impact logging relative to conventional logging in the Eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 163, p. 93-110. 2002.

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Good practice guidance for land use, land-use change and forestry**. Hayama: Institute for Global Environmental Strategies for the IPCC, 2003. 632 p.

_____. Agriculture, forestry and other land use. In: EGGLESTON, H.S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. **IPCC 2006 guidelines for national greenhouse gas inventories**: prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Hayama: Institute for Global Environmental Strategies for the IPCC, 2006. v. 4, p. 1.1-12.33.

JONHS, J.; BARRETO, P.; UHL, C. Logging damage in planned and unplanned logging operation and its implications for sustainable timber production in the eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 89, p. 59-77, 1996.

KELLER, M.; ASNER, G.P.; SILVA, N.; PALACE, M. Sustainability of selective logging of upland forests in the Brazilian Amazon: carbon budgets and remote sensing as tools for evaluation of logging effects. In: ZARIN, D. E. A. **Working forests in the tropics: conservation through sustainable management?** New York: Columbia University Press, 2004. p. 41-63.

MACPHERSON, A.J.; SCHULZE, M.D.; CARTER, D.R.; VIDAL, E. A model for comparing reduced impact logging with conventional logging for an Eastern Amazonian forest. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 260, p. 2002-2011. 2010.

MACPHERSON, A.J.; CARTER, D.R.; SCHULZE, M.D.; VIDAL, E.; LENTINI, M.W. The sustainability of timber production from eastern Amazonian forests. **Natural Resource Modeling**, Hoboken, 2011. In press.

MAZZEI, L.; SIST, P.; RUSCHEL, A.R.; PUTZ, F.E.; MARCO, P.; PENA, W.; RIBEIRO FERREIRA, J.E. Above-ground biomass dynamics after reduced-impact logging in the Eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, n. 3, p. 367-373, 2010.

MEDJIBE, V.P.; PUTZ, F.E.; STARKEY, M.P.; NDOUNA, A.A.; MEMIAGHE, H.R. Impacts of selective logging on above-ground forest biomass in the Monts de Cristal in Gabon. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, 2011. In press.

NASI, R.; PUTZ, F.E.; PACHECO, P.; WUNDER, S.; ANTA, S. Sustainable forest management and carbon in tropical Latin America: the case for REDD+. **Forests**, Basel, n. 2, p. 200-217, 2011.

PLAFF, A.; SILLS, E.O.; AMACHER, G.S.; COREN, K.L.; STRECK, C. **Policy impacts on deforestation lessons learned from past experiences to inform new initiatives**. Durham: University of Duke, Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions, 2010. 55 p.

PINARD, M.A.; PUTZ, F.E. Retaining forest biomass by reducing logging damage. **Biotropica**, Hoboken, v. 28, n. 3, p. 278-295, 1996.

PUTZ, F.E.; ZULDEMA, P.A.; PINARD, M.A.; BOOT, R.G.A.; SAYER, J.A.; SHEIL, D.; SIST, P.; ELLAS; VANCLAY, J.K. Improved tropical forest management for carbon retention. **Plos Biology**, San Francisco, v. 6, p. 1368-1370, 2008.

PUTZ, F.E.; SYNNOTT, T.; PEÑA-CLAROS, M.; PINARD, M.; SHEIL, D.; VANCLAY, J.; SIST, P.; GOURLET-FLEURY, S.; GRISCOM, B.; PALMER, J.; ZAGT, R.; ZUIDEMA, P. Sustaining tropical forests with forestry. **PLoS Biology**, San Francisco. 2011. In press.

ROSENBAOUM, P.R. **Observational studies**. 2nd ed. New York: Springer-Verlag, 2002. 375 p.

SAATCHI, S.S.; HOUGHTON, R.A.; DOS SANTOS ALVALA, R.C.; SOARES, J.V.; YU, Y. Distribution of aboveground live biomass in the Amazon basin. **Global Change Biology**, Hoboken, v.13 p.816-837, 2007.

SAS INSTITUTE. **SAS 9.2**: enhanced logging facilities. Cary, 2008. 13 p.

SMUCKER, M.D.; ALLAN, J.; CARTERETTE, B. A comparison of statistical significance tests for information retrieval evaluation. In: CONFERENCE ON INFORMATION AND KNOWLEDGE MANAGEMENT (CIKM 2007), 16., 2007, Lisboa. **Proceedings...** Lisboa: Association for Computing Machinery, 2007. p. 623-632. 2007.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **Kyoto protocol**. Kyoto, 1998. 20 p.

_____. **A/R methodological tool "estimation of carbon stocks and change in carbon stocks in dead wood and litter in A/R CDM project activities"**: version 01.1.0. Boon, 2010. 18 p.

VALLE, D.; PHILLIPS, P.; VIDAL, E.; SCHULZE, M.; GROGAN, J.; SALES, M.; GARDINGEN, P.V. Adaptation of a spatially explicit individual tree-based growth and yield model and long-term comparison between reduced-impact and conventional logging in eastern Amazonia, Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 243, p. 187-198, 2007.

VCS ASSOCIATION. **Guidance for agriculture, forestry and other land use projects**. Washington, 2008. 44 p.

_____. **Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU) requirements**; requirements document; version 3.0. Washington, 2011a. 46 p.

_____. **VCS program guide**: version 3.0. Washington, 2011b. 21 p.

VIDAL, E. **Dinâmica de florestas manejadas e sob exploração convencional na Amazônia oriental**. 2004. 171 p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2004.

VIDAL, E.; VIANA, M.; FERREIRA, J.B. Crescimento de floresta tropical três anos após colheita de madeira com e sem manejo florestal na Amazônia oriental. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 61, p. 133-143, 2002.

WUNDER, S. **Payments for environmental services: some nuts and bolts.** Bogor: Center for International Forestry Research, 2005. 24 p. (Occasional Paper, 42).

_____. The efficiency of payments for environmental services in tropical conservation. **Conservation Biology**, Hoboken, v. 21, n. 1, p. 48-58, 2006.

ZANNE, A.E.; LOPEZ-GONZALEZ, G.; COOMES, D.A.; ILIC, J.; JANSEN, S.; LEWIS, S.L.; MILLER, R.B.; SWENSON, N.G.; WIEMANN, M.C.; CHAVE, J. **Data from: towards a worldwide wood economics spectrum.** Hoboken: Dryad Digital Repository, 2009. 15 p.

4 AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM PROJETO DE CRÉDITO DE CARBONO ENVOLVENDO A CONVERSÃO DA EXPLORAÇÃO MADEIREIRA CONVENCIONAL PARA O MANEJO FLORESTAL COM EXPLORAÇÃO DE IMPACTO REDUZIDO

Resumo

As crescentes preocupações com a mitigação das mudanças do clima levaram à criação de mecanismos de mercado que recompensassem financeiramente ações adicionais de remoção de gases do efeito estufa da atmosfera através de projetos voltados ao mercado de carbono. Embora, no âmbito do Protocolo de Kyoto, apenas atividades florestais de florestamento e reflorestamento sejam consideradas elegíveis, a maturação do mercado voluntário de carbono levou regimes de mercado como o *Verified Carbon Standard* (VCS) a aceitarem, entre outras, atividades de projeto envolvendo a melhoria do manejo florestal, incluindo a conversão da exploração madeireira convencional (EC) para o manejo florestal com exploração de impacto reduzido (MF-EIR), atividade esta que, muito provavelmente, estará inclusa no escopo de um futuro programa florestal de mitigação das mudanças do clima, o REDD+ (redução de emissões do desmatamento e degradação florestal mais os benefícios do sequestro de carbono através de melhorias do manejo florestal). Utilizando uma série histórica de 16 anos de dados de uma área florestal explorada através da EC e do MF-EIR, estimou-se os impactos dos tratamentos na dinâmica do carbono ao longo do tempo, sob a perspectiva de um projeto florestal de crédito de carbono envolvendo a conversão da EC para o MF-EIR. O volume de créditos de carbono estimado para o projeto foi de 61,81 VCUs ha⁻¹. Considerando um *buffer* de créditos da ordem de 15%, o volume dos créditos passível de comercialização passou para 52,54 VCUs ha⁻¹. A análise econômica realizada, considerando cenários distintos envolvendo a área do projeto (500; 1.000; 5.000; e 10.000 ha) e o preço do crédito de carbono (US\$ 5,00; US\$ 7,50; e US\$ 10,00 unidade⁻¹), resultou em uma matriz de resultados onde apenas projetos com área próxima a 1.000 ha seriam possivelmente viáveis economicamente à atividade de projeto de carbono em questão. Por fim, o valor mínimo estimado do crédito de carbono para que não haja prejuízo financeiro aos madeireiros pela postergação do início do segundo ciclo de corte na área do projeto, tempo necessário para que os estoques de carbono da biomassa arbórea viva atinjam seu valor inicial pré-exploração, foi de US\$ 5,33 por unidade, estando dentro da faixa de preços praticados pelo mercado de carbono identificada pela literatura.

Palavras-chave: Crédito de carbono; Melhoria do manejo florestal; VCS; REDD+; Mitigação das mudanças do clima; Exploração convencional, Exploração de Impacto Reduzido, Viabilidade econômica

Abstract

Growing concerns over global climate change led to the development of market mechanisms that financially compensate additional retention or sequestration of greenhouse gases (GHGs). While under the Kyoto Protocol only forest activities related to afforestation and reforestation are eligible for compensation, maturation of voluntary carbon markets led to schemes such as the Verified Carbon Standard (VCS) to accept other sorts of forest-based offsets, such as the conversion from conventional logging (CL) to reduced-impact logging (RIL). It is anticipated that this sort of activity will also be included in the scope of the future REDD+ program (reduced emissions from deforestation and forest degradation plus the carbon sequestration benefits of improved forest management). Carbon dynamics over a 16 year period after CL and RIL in Paragominas, Pará State, Brazil was assessed. The amount of carbon credits estimated for the project involving the conversion from CL to RIL was 61.81 VCUs ha⁻¹. Assuming buffer credits of 15%, tradable carbon was reduced to 52.54 VCUs ha⁻¹. The economic analysis performed, considering different scenarios involving the project area (500; 1,000; 5,000 and 10,000 ha) and carbon credit prices (USD 5.00; USD 7.00 and USD 10.00 unit⁻¹), resulted in an array of results where only projects >1,000 ha would likely be economically viable. Finally, the minimum estimated carbon credit price that would imply in no financial loss to loggers by delaying the start of the second cutting cycle, that is, the time required for the live carbon stocks to reach their pre-logging values, was USD 5.33 per unit, which is within the range of prices observed on the current carbon market.

Keywords: Carbon offsets; Improved forest management; VCS; REDD+; Climate change mitigation; Conventional logging, Reduced Impact Logging, Economical viability

4.1 Introdução

O interesse em projetos florestais no âmbito do mercado voluntário vem crescendo consideravelmente (HAMILTON et al., 2009).

Paralelamente às negociações dos encontros oficiais das Nações Unidas, surgiram, no mercado voluntário de carbono, regimes como o *Verified Carbon Standard* (VCS), onde atividades florestais de melhorias do manejo florestal (IFM⁸³, sigla em inglês), envolvendo a conversão da EC para o MF-EIR, se tornaram elegíveis, desde que baseadas nas regras estabelecidas pelos regimes e em metodologias previamente aprovadas (VCS 2007.1, 2008, 2011a; HAMILTON et al., 2009; LOPEZ, 2009; MERGER, 2010).

⁸³ Improved Forest Management

Não obstante, por ser tratar de uma atividade de projeto muito recente e com uma lacuna de conhecimento científico que viabilize sua implementação, atualmente ainda não existem projetos de carbono envolvendo este tipo de atividade.

Dados levantados ao longo de 16 anos em uma área explorada através da EC e do MF-EIR em 1993, em Paragominas, estado do Pará, e sobre custos atrelados aos projetos florestais de carbono foram utilizados para analisar a viabilidade econômica *ex ante* de um projeto envolvendo a conversão da EC para o MF-EIR desenvolvido no âmbito do VCS e seu impacto financeiro na postergação do início do segundo ciclo de corte da florestal em função do tempo de espera para que os níveis dos estoques de carbono retornem ao seu patamar inicial.

Para tanto, a metodologia desenvolvida no capítulo 2 dessa dissertação foi empregada.

4.2 Revisão Bibliográfica

4.2.1 Mercado de carbono

O mercado de carbono é aquele que engloba todas as transações de créditos de carbono, sendo elas baseadas em: (1) permissões de emissões de gases do efeito estufa⁸⁴ (GEE), por exemplo, as "Unidades de Quantidade Atribuída" (AAU⁸⁵, sigla em inglês), definidas pelo Protocolo de Kyoto (ver item 3.5.1 do primeiro capítulo desta dissertação); (2) transações baseadas em projetos⁸⁶, como envolvendo as "Reduções Certificadas de Emissões" (CER⁸⁷, sigla em inglês) e as "Unidades de Redução de Emissões" (ERU⁸⁸, sigla em inglês), no âmbito do MDL e da Implementação Conjunta (ver item 3.5.2 e 3.5.3 do primeiro capítulo desta dissertação) bem como as demais unidades equivalentes aos créditos de carbono no âmbito dos padrões do mercado voluntário, como as "Unidades de Carbono Verificadas" (VCU⁸⁹, sigla em inglês) do VCS; (3) além das transações secundárias realizadas por especuladores de mercado (LOHMANN, 2006).

⁸⁴ Allowances

⁸⁵ Assigned Amount Units

⁸⁶ Project-based transactions

⁸⁷ Certified Emission Reduction

⁸⁸ Emission Reduction Units

⁸⁹ Verified Carbon Units

A Tabela 26 exibi as transações ocorridas no mercado de carbono entre os anos de 2004 e 2010.

Conforme apresentado no primeiro capítulo desta dissertação, os mercados mundiais de carbono podem ser divididos em dois segmentos: os mercados voluntários e os regulamentados ou obrigatórios. Como o nome implica, o mercado de carbono voluntário inclui todas as operações de compensação de carbono que não são determinadas por regulamentações, como a do Protocolo de Kyoto (HAMILTON et al., 2009; MERGER, 2010).

Os mercados voluntários apresentam duas componentes distintas: a Bolsa do Clima de Chicago (CCX⁹⁰, sigla em inglês), que é voluntária, mas juridicamente vinculativa, baseada em um sistema de *cap-and-trade*, e o mercado mais amplo, não vinculativo conhecido como “mercado de balcão” ou “*over-the-counter*” (OTC) (HAMILTON, et al., 2009).

⁹⁰ Chicago Climate Exchange

Tabela 26 – Evolução do mercado de carbono, em bilhões de dólares

| ORIGEM | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | TOTAL |
|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| EU ETS Allowances ⁹¹ | 7,9 | 24,4 | 49,1 | 100,5 | 118,5 | 119,8 | 420,2 |
| Demais Allowances | 0,1 | 0,3 | 0,3 | 1,0 | 4,3 | 1,1 | 7,1 |
| MDL Primário ⁹² | 2,6 | 5,8 | 7,4 | 6,5 | 2,7 | 1,5 | 26,8 |
| MDL Secundário ⁹³ | 0,2 | 0,4 | 5,5 | 26,5 | 17,5 | 18,3 | 68,4 |
| Demais transações ⁹⁴ | 0,3 | 0,3 | 0,8 | 0,8 | 0,7 | 1,2 | 4,1 |
| TOTAL | 11,0 | 31,2 | 63,0 | 135,1 | 143,7 | 141,9 | 526,6 |

Fonte: Linacre et al. (2011).

A Tabela 27 a seguir exibe os volumes de créditos de carbono e monetário transacionados no mercado voluntário em 2009 e 2010.

Tabela 27 – Transações no mercado voluntário de carbono, 2009 e 2010

| Mercado voluntário | 2009 | | | 2010 | | |
|--------------------|-------------------------------|--------------|------------------------------|-------------------------------|--------------|------------------------------|
| | Volume (Mt CO ₂ e) | Preço (US\$) | Valor (Mt CO ₂ e) | Volume (Mt CO ₂ e) | Preço (US\$) | Valor (Mt CO ₂ e) |
| OTC | 55 | 6,5 | 128 | 354 | 6 | 414 |
| CCX | 41 | 1,2 | 2 | 50 | 0,1 | 0,2 |
| Outros | 2 | 6,2 | 2 | 12 | 6 | 10 |
| TOTAL | 98 | - | 131 | 415 | - | 424 |

Fonte: Peters-Stanley et al. (2011)

4.2.2 Mercado de carbono florestal

Embora ainda exista um pequeno número de projetos florestais voltados ao mercado oficial de carbono, regularizado pelo Protocolo de Kyoto e desenvolvidos no âmbito do MDL (29 projetos florestais de carbono, equivalente a 0,74% do

⁹¹ "Permissões de emissão de GEE" transacionadas no Esquema de Comércio de Emissões da União Européia, a maior bolsa mundial de transação de créditos de carbono

⁹² Transações *project-based* baseadas nos CERs de projetos implementados no âmbito do MDL

⁹³ Transações subseqüentes à primeira comercialização dos CERs

⁹⁴ Basicamente envolvendo as transações de ERU no âmbito da Implementação Conjunta e dos créditos voluntários de carbono

número total de projetos de MDL registrados), o interesse em projetos florestais no âmbito do mercado voluntário vem crescendo consideravelmente (HAMILTON et al., 2009).

Segundo o último relatório da série *State of the Voluntary Carbon Markets* (PETERS-STANLEY et al., 2011), em 2010, 46% dos créditos de carbono do mercado voluntário, excluindo-se aqueles gerados no âmbito da Bolsa do Clima de Chicago, foram originados de projetos envolvendo o uso da terra, o equivalente a 28 Mt CO₂-e. A Figura 24 ilustra a evolução das transações desses créditos em função dos tipos de atividades de projeto.

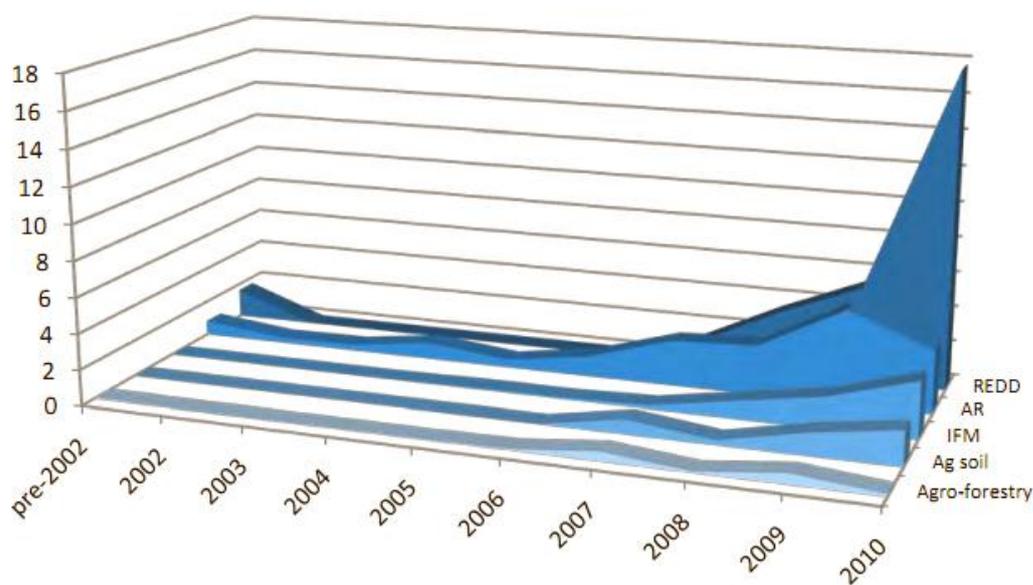


Figura 24 – Volume das transações de créditos de carbono envolvendo as atividades de uso da terra no mercado voluntário de carbono, Mt CO₂e

Fonte: Peters-Stanley et al. (2011)

O relatório da série *State of the Forest Carbon Markets* (HAMILTON et al., 2009) apresenta um histórico de transações dos créditos florestais nos mercados de carbono, em termos de volume e capital. As transações desses créditos superaram o valor de US\$ 150 milhões (Figura 25).

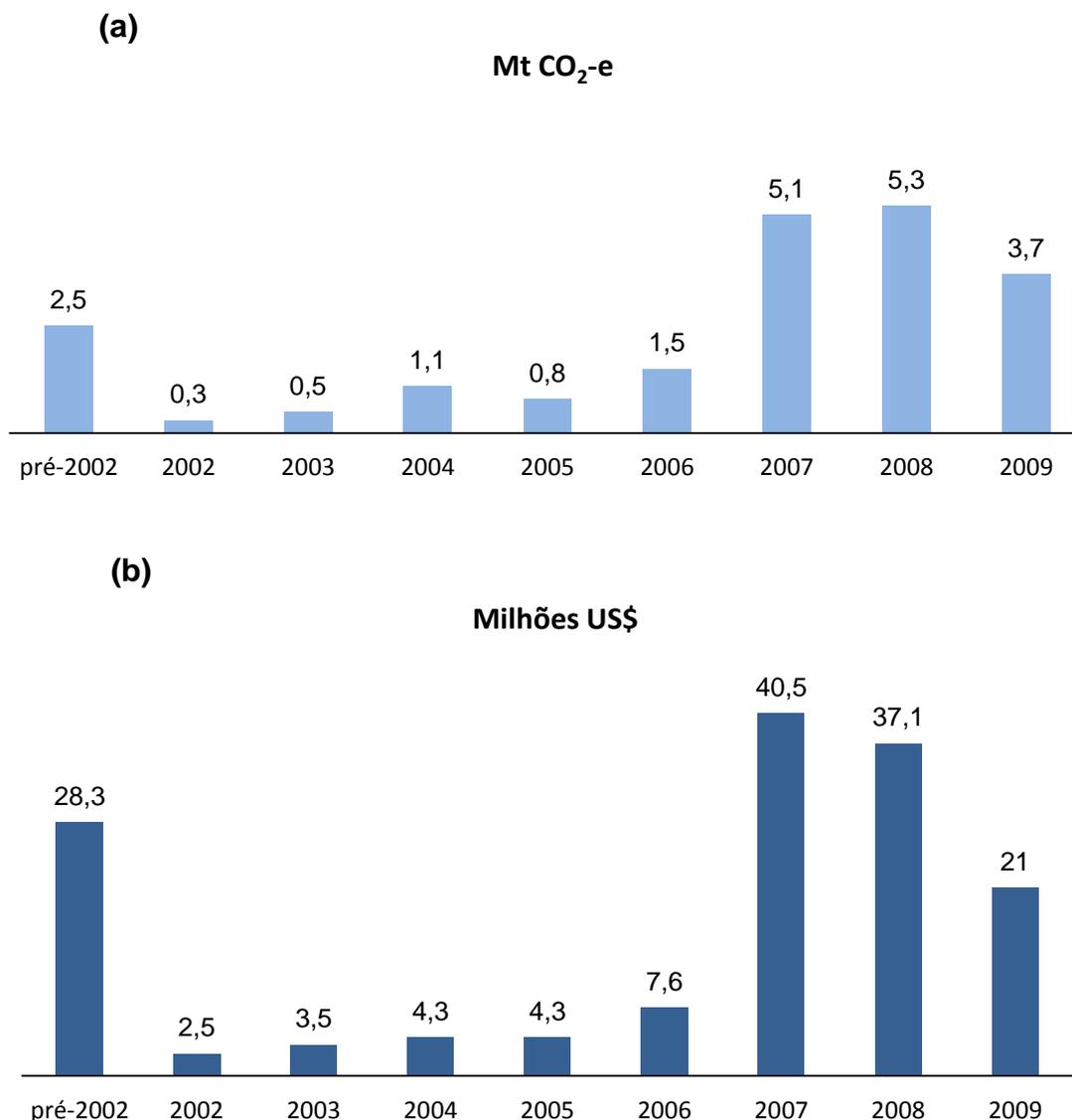


Figura 25 – Histórico das transações de créditos florestais de carbono nos mercados de carbono regulado e voluntário, (a) volume e (b) valores

Fonte: Hamilton et al. (2009)

4.2.3 Preços do carbono florestal

Em relação aos preços dos créditos florestais praticados, Hamilton et al. (2009) apontam uma faixa de US\$ 1 a US\$ 50 por Mg CO₂-e, com uma média ponderada geral de US\$ 8,44 por Mg CO₂-e, para comercializações primárias, aquelas comercializados diretamente pelos proponentes de projetos. Para o créditos vendidos por intermediários (comercializações secundárias), a faixa de preço

identificada foi de US\$ 1 a US\$ 30 por Mg CO₂-e, com uma média ponderada geral de US\$ 8,89 por Mg CO₂-e.

Embora exista uma faixa consideravelmente larga de preços, Hamilton et al. (2009) apontam que em geral, ambos os preços praticados nas comercializações primárias e secundárias vem se mantendo relativamente estáveis desde 2002, como uma média anual ponderada pelo volume variando entre US\$ 4,06 e US\$ 11,69 por Mg CO₂-e para as comercializações primárias de US\$ 3,63 a US\$ 12,79 por Mg CO₂-e para as secundárias.

A Figura 26 ilustra o histórico das flutuações nos preços médio dos créditos florestais praticados no mercado de carbono.

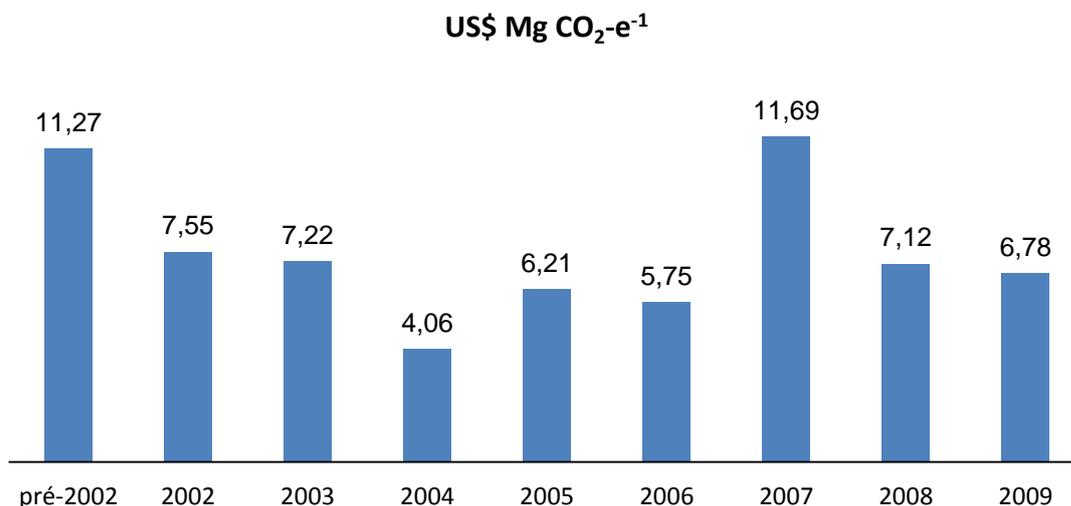


Figura 26 – Histórico das flutuações nos preços dos créditos florestais nos mercados de carbono regulado e voluntário, preços médios.

Fonte: Adaptado de Hamilton et al. (2009)

Cabe ressaltar que muitos projetos de carbono não necessariamente recorrem ao mercado para a comercialização de seus créditos de carbono. Inúmeras formas de acordo sobre seus financiamentos podem acontecer, de forma que os créditos gerados sejam automaticamente utilizados no abatimento de emissões de países ou organizações.

4.2.4 Expectativas sobre o carbono florestal

Uma pesquisa realizada por Neff et al. (2009) apontou quais são os interesses dos compradores do carbono florestal em relação aos seus projetos de origem. As figuras a seguir ilustram esses interesses e nos permitem aferir sobre as tendências futuras do mercado florestal de carbono.

As tendências observadas pelo estudo indicam que o uso de padrões reconhecidos do mercado de carbono é o fator mais importante considerado pelos compradores (Figura 27).

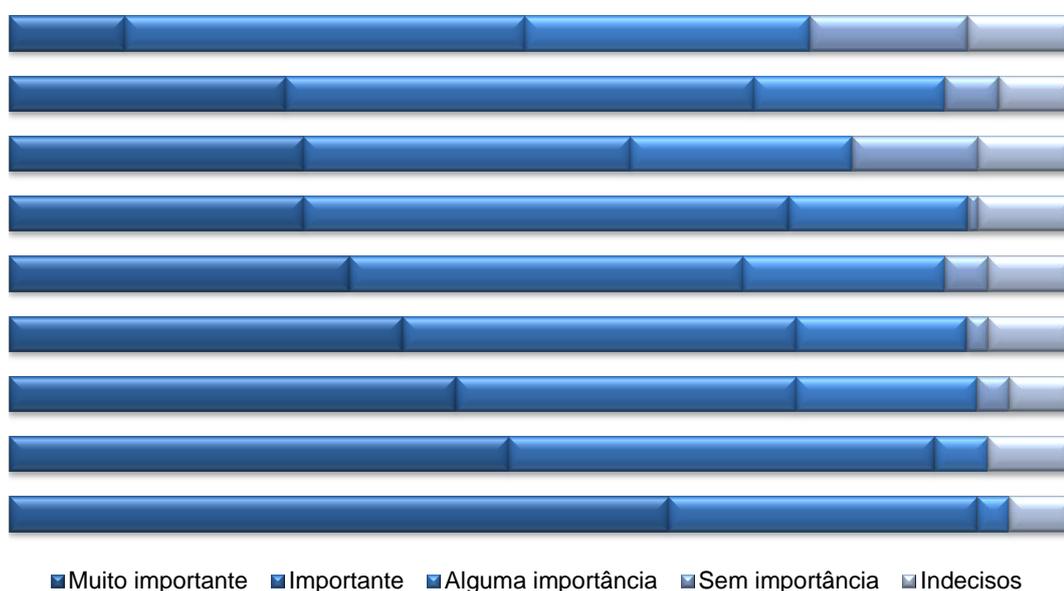


Figura 27 – Fatores mais importantes nos projetos florestais considerados por compradores do mercado de carbono

Fonte: Neff et al. (2009)

Entre os padrões, as respostas do estudo apontam uma preferência pelo VCS, MDL e pelo CCBS combinado com outro padrão, uma vez que o CCBS certifica os co-benefícios ambientais e sociais dos projetos e não emite créditos de carbono (Figura 28).

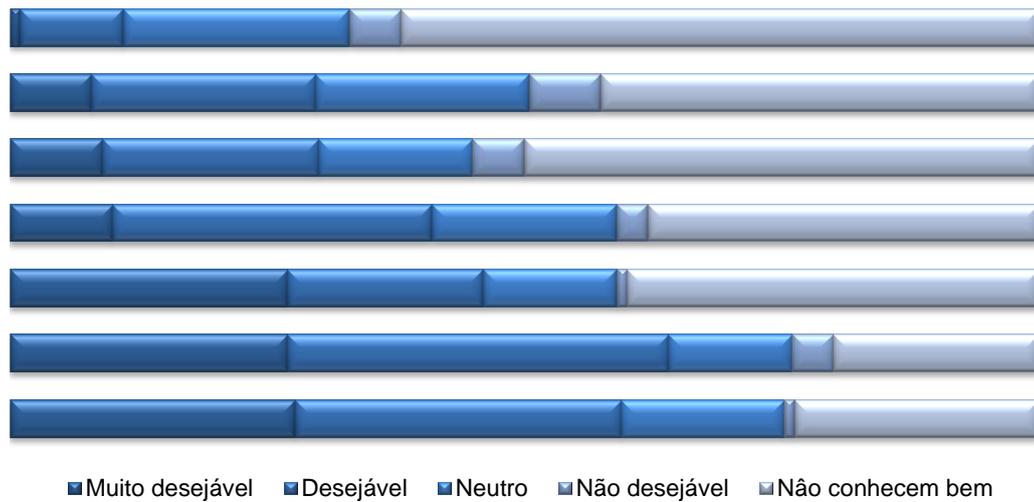


Figura 28 – Padrões de carbono para projetos florestais classificados pelo interesse dos compradores do mercado de carbono

Fonte: Neff et al. (2009)

Atividades de projeto envolvendo o desmatamento evitado e o reflorestamento com espécies nativas foram apontadas com as mais desejáveis nos projetos florestais de carbono (Figura 29).

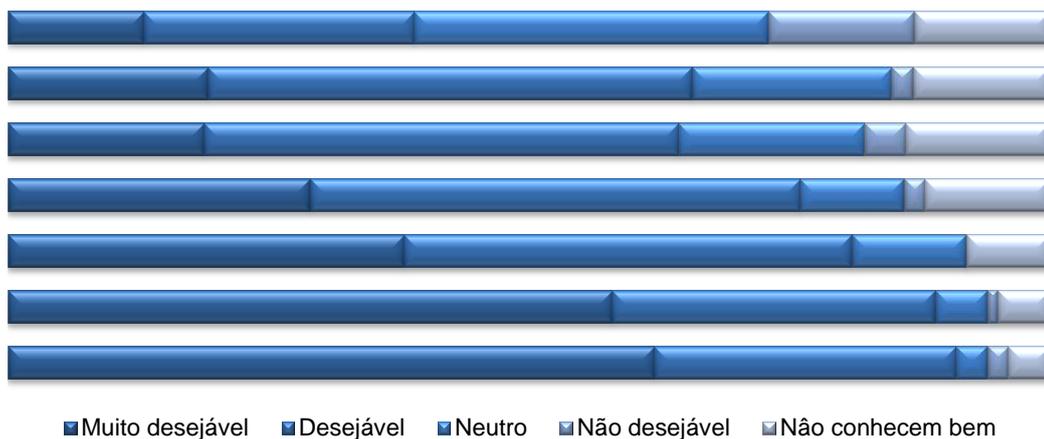


Figura 29 – Tipos de atividades dos projetos florestais classificados pelo interesse dos compradores do mercado de carbono

Fonte: Neff et al. (2009)

Em relação às regiões geográficas dos projetos, a de maior interesse por parte dos compradores é a América do sul (Figura 30).

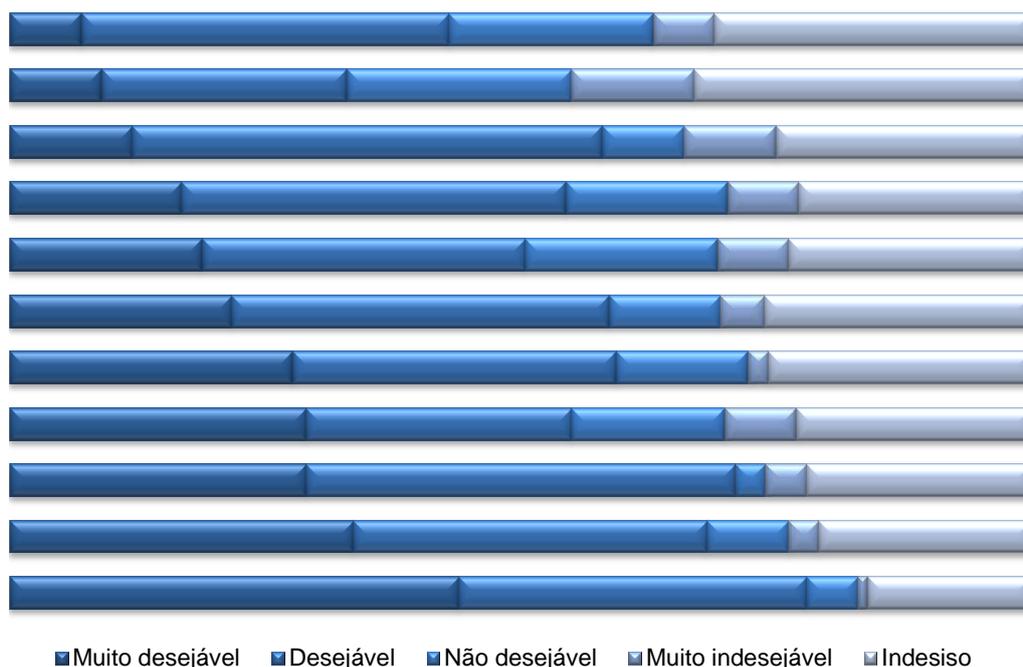


Figura 30 – Localização geográfica dos projetos florestais classificada pelo interesse dos compradores do mercado de carbono

Fonte: Neff et al. (2009)

Quando questionados sobre faixas de preços que os compradores esperam pagar pelos créditos de carbono florestais, a maior parte dos resultados variou de US\$ 5,00 a US\$ 12,00 (Figura 31).

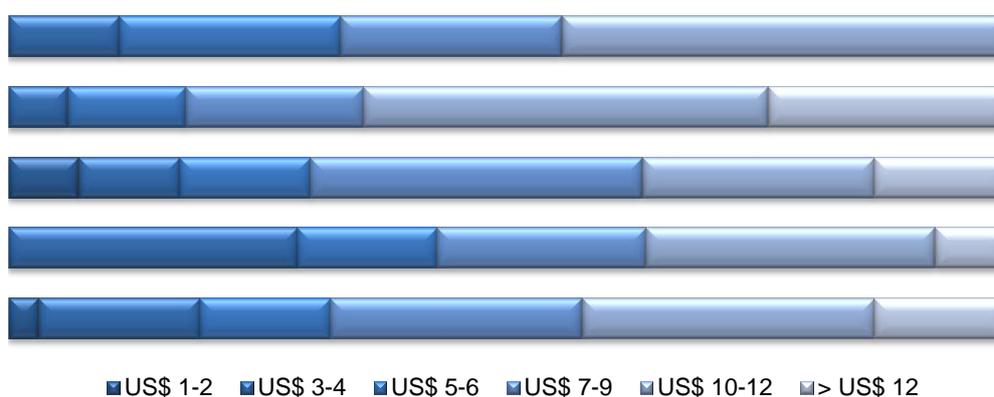


Figura 31 – Preço que os compradores do mercado de carbono esperam pagar pela tonelada dos créditos de projetos florestais, divididos por região

Fonte: Neff et al. (2009)

4.3 Material e Métodos

4.3.1 Viabilidade econômica do projeto de carbono

A análise da viabilidade econômica do projeto foi realizada através do cálculo do seu Valor Presente Líquido (VPL), para o período de crédito do projeto, definido no item 8.1 da metodologia para projetos de carbono desenvolvida no capítulo 2 desta dissertação.

Visto que atualmente o VCS é o padrão do mercado de carbono, onde atividades de projetos IFM são elegíveis, de maior interesse por parte dos compradores e maior destaque, os custos atrelados ao projeto de carbono basearam-se nas regras e procedimentos desse padrão.

Os custos de cada atividade do projeto de carbono foram levantados, bem como os custos de transações dos créditos. Esses levantamentos foram realizados baseados em valores disponíveis na literatura e em contato via mensagens eletrônicas com a *VCS Association*, a *Rainforest Alliance* (validador) e a *NYSE Blue*, companhia de registro dos créditos do VCS.

As receitas foram estimadas baseadas na comercialização dos créditos gerados pelo projeto MF-EIR em questão para três diferentes cenários de preço do crédito de carbono: US\$ 5; US\$ 7,50; e US\$ 10,00. Esses valores foram escolhidos baseados nos resultados obtidos por Neff et al. (2009) (Figura 4.8). A área do projeto foi também considerada sob três cenários diferentes: 500 ha; 1.000 ha; 5.000 ha; e 10.000 ha.

O volume *ex ante* de créditos gerados pelo projeto foi estimado através dos passos apresentados na metodologia desenvolvida no capítulo 2 desta dissertação. O vazamento de GEE resultado da implementação do projeto foi considerado zero e as emissões do projeto foram, novamente, negligenciadas.

A dinâmica do estoque de carbono da biomassa arbórea viva foi estimada através de um modelo linear, resultado da análise de regressão dos valores somados dos estoques de carbono observados para cada indivíduo arbóreo amostrado do Grupo 1 (5,25 ha), nos tratamentos de MF-EIR e EC, para os anos em que ocorreram os inventários florestais, expressos em Mg C ha⁻¹. Os valores estimados pelos modelos foram utilizados para a estimativa *ex ante* do volume de créditos de carbono do projeto.

4.3.2 Trade-off do início do segundo ciclo de exploração florestal pelo PSA

Uma vez que o projeto de carbono pode representar um *trade-off* entre a receita financeira da comercialização dos créditos de carbono e o início do segundo ciclo de colheita madeireira, que ocorreria, no caso do Brasil, seguindo a resolução CONAMA número 406/2009 (35 anos após a colheita anterior), foi calculado qual o valor do crédito de carbono, funcionando como pagamento por um serviço ambiental (PSA), seria necessário a fim de que o lucro obtido com a sua comercialização dos créditos de carbono se igualasse ao lucro da comercialização da madeira colhida na área do projeto, considerando sua possível postergação. De forma que:

$$C \cdot (1 + i)^{a_1} = M \cdot (1 + i)^{a_2} - M \quad (4.1)$$

Onde:

| | |
|-------|--|
| C | Lucro da comercialização dos créditos de carbonos do projeto, US\$ ha ⁻¹ |
| M | Lucro da comercialização da madeira colhida, US\$ ha ⁻¹ |
| i | Taxa de capitalização anual, 12% |
| a_1 | Período entre a emissão dos créditos de carbono e o início no segundo ciclo de corte da floresta na ausência do projeto de carbono, anos |
| a_2 | Período de postergação do início no segundo ciclo de corte da floresta devido ao projeto de carbono (onde espera-se a recuperação dos estoques de carbono da floresta ao nível pré-exploração), anos |

4.4 Resultados

A Tabela 4.3 aponta os valores dos custos de atividades atreladas aos projetos florestais de carbono e suas respectivas referências.

A plataforma de registro *NYSE Blue* fornece ainda a opção de seguro dos créditos emitidos por US\$ 0,05 VCU⁻¹ (nome do crédito de carbono emitido sob o

âmbito do VCS). Caso o projeto de carbono seja também certificado pelo CCBS existe uma taxa adicional de US\$ 0,02 por VCU emitido⁹⁵ (VCS, 2011b).

O VCS cobra uma taxa de US\$ 0,10 sobre cada VCU emitido (Tabela 28) (VCS, 2011b).

Tabela 28 – Custos considerados para as atividades atreladas ao projeto florestal de carbono

| Atividade | Custo | Frequência | Referência |
|---|--|-------------------|--|
| Desenvolvimento do PIN | US\$ 7 - 20 k ^(a) | 1 vez | ONF, 2010 |
| Desenvolvimento do DCP | US\$ 25 - 100 k ^(a) | 1 vez | ONF, 2010 |
| Validação | US\$ 12 - 80 k | 1 vez | VCS Association; Rainforest Alliance, consulta |
| Monitoramento | US\$ 10 - 20 ha ⁻¹ ^(a) | Máximo 5 anos | ONFI, 2010 |
| Verificação | US\$ 12 - 40 k | Máximo 5 anos | VCS Association; Rainforest Alliance, consulta |
| Taxas sobre os créditos emitidos pelo VCS | US\$ 0,10 VCU ⁻¹ | - | VCS, 2011b |
| Taxas sobre os créditos de projetos também certificados pelo CCBS | US\$ 0,02 VCU ⁻¹ | - | VCS, 2011b |

Nota ^a: Taxa de câmbio adotada: 1 € = 1,40 US\$

A análise de regressão dos dados amostrados em campo (Tabela 29) gerou modelos lineares para os tratamentos MF-EIR e EC (Figura 32), respectivamente:

⁹⁵ Considerou-se essa taxa nos custos do projeto, uma vez que Neff et al. (2009) identificaram uma preferência dos compradores de créditos florestais de carbono por projetos aprovados também no âmbito do CCBS.

$$Y = 1,35744x + 96,30996 \quad (4.2)$$

$$Y = 0,59825x + 66,46498 \quad (4.3)$$

Onde:

Y Variação do carbono da biomassa arbórea viva pós-exploração, Mg ha⁻¹

x Ano após a exploração florestal

O coeficiente de determinação dos modelos foi alto, $R^2 = 0,96$ para o modelo do MF-EIR e $R^2 = 0,96$ para a modelo da EC.

Tabela 29 – Dinâmica do carbono da biomassa arbórea acima do solo pós-exploração madeireira, para os tratamentos MF-EIR e EC, Mg C ha⁻¹

| Ano do inventário florestal pós-exploração | Ano do projeto pós-exploração | Estoque de carbono da biomassa arbórea viva por tratamento (Mg C ha ⁻¹) | |
|--|-------------------------------|---|-------|
| | | MF-EIR | EC |
| 1994 | 1 | 95,68 | 66,20 |
| 1995 | 2 | 99,04 | 67,83 |
| 1996 | 3 | 101,10 | 68,34 |
| 1998 | 5 | 103,44 | 69,75 |
| 2000 | 7 | 106,89 | 70,88 |
| 2003 | 10 | 112,08 | 73,57 |
| 2006 | 13 | 111,76 | 73,42 |
| 2009 | 16 | 117,84 | 75,83 |

Os modelos gerados foram utilizados para estimar a remoção líquida de GEE nos tratamentos MF-EIR e EC, convertidos de Mg C ha⁻¹ para Mg CO₂-e ha⁻¹. A partir dessas estimativas, e seguindo a metodologia proposta, o fator de redução da biomassa arbórea foi estimado e utilizado para a estimativa da linha de base do projeto de carbono. As remoções antrópicas líquidas de GEE por sumidouros é o resultado da diferença entre a remoção líquida *ex ante* estimada de GEE do tratamento MF-EIR e a remoção líquida *ex ante* de GEE da linha de base (o

vazamento do projeto foi considerado zero e as emissões de GEE do projeto negligenciadas).

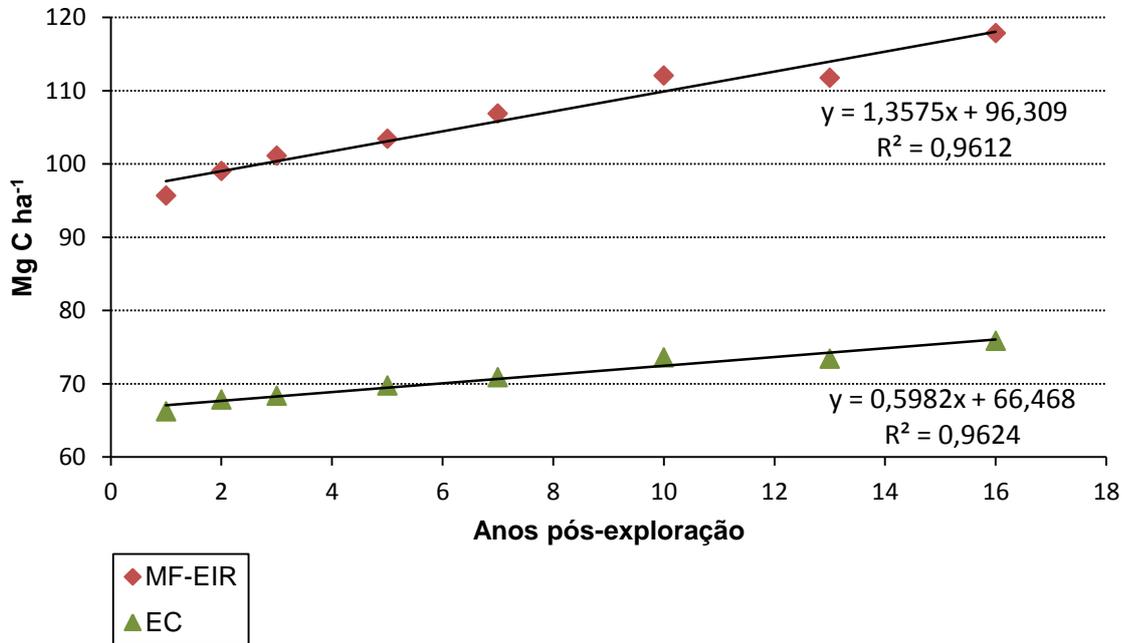


Figura 32 – Valores observados para o estoque de carbono da biomassa arbórea viva na área dos tratamentos MF-EIR e EC e as linha de tendência do modelo ajustado

Os créditos de carbono foram contabilizados a cada verificação, não obstante, como o foco dessa análise econômica ocorre no âmbito do VCS, o volume de créditos de carbono passíveis de comercialização é aquele definido pela média de longo prazo dos benefícios do carbono, conforme estipulada pelo VCS (2011a; 2011c) (Tabela 30).

Tabela 30 – Estimativa *ex ante* do volume de créditos de carbono

(continua)

| Ano do projeto | Remoção líquida estimada de GEE do tratamento MF-EIR (Mg CO ₂ -e ha ⁻¹) | Remoção líquida estimada de GEE do tratamento EC (Mg CO ₂ -e ha ⁻¹) | Fator de redução atrelado à EC ⁹⁶ | Remoção líquida ex ante de GEE da linha de base ⁹⁷ (Mg CO ₂ -e ha ⁻¹) | Remoções antrópicas líquidas de GEE por sumidouros ⁹⁸ (Mg CO ₂ -e ha ⁻¹) | Créditos de carbono emitidos por verificação (Unidades ha ⁻¹) | VCUs equivalentes à média de longo prazo dos benefícios do carbono ⁹⁹ (Unidades ha ⁻¹) |
|----------------|--|--|--|---|--|---|---|
| 0 | 461,38 | 348,58 | - | - | - | - | - |
| 1 | 358,11 | 245,91 | 29% | 252,64 | 105,48 | | |
| 2 | 363,09 | 248,10 | 29% | 258,43 | 104,66 | | |
| 3 | 368,07 | 250,30 | 28% | 264,29 | 103,78 | 103,78 | 61,81 |
| 4 | 373,05 | 252,49 | 28% | 270,21 | 102,83 | | |
| 5 | 378,02 | 254,69 | 27% | 276,20 | 101,83 | | |
| 6 | 383,00 | 256,88 | 26% | 282,24 | 100,76 | | |
| 7 | 387,98 | 259,07 | 26% | 288,35 | 99,62 | | |
| 8 | 392,95 | 261,27 | 25% | 294,52 | 98,43 | 98,43 | - |
| 9 | 397,93 | 263,46 | 24% | 300,76 | 97,17 | | |
| 10 | 402,91 | 265,65 | 24% | 307,06 | 95,85 | | |
| 11 | 407,89 | 267,85 | 23% | 313,42 | 94,47 | | |
| 12 | 412,86 | 270,04 | 23% | 319,84 | 93,02 | | |
| 13 | 417,84 | 272,23 | 22% | 326,32 | 91,52 | 91,52 | - |
| 14 | 422,82 | 274,43 | 21% | 332,87 | 89,95 | | |
| 15 | 427,80 | 276,62 | 21% | 339,48 | 88,31 | | |
| 16 | 432,77 | 278,82 | 20% | 346,16 | 86,62 | | |
| 17 | 437,75 | 281,01 | 19% | 352,89 | 84,86 | | |
| 18 | 442,73 | 283,20 | 19% | 359,69 | 83,04 | 83,04 | - |
| 19 | 447,70 | 285,40 | 18% | 366,55 | 81,15 | | |
| 20 | 452,68 | 287,59 | 17% | 373,48 | 79,21 | | |
| 21 | 457,66 | 289,78 | 16% | 380,46 | 77,20 | | |
| 22 | 461,38 | 291,98 | 16% | 387,51 | 75,13 | | |
| 23 | 461,38 | 294,17 | 16% | 390,43 | 72,21 | 72,21 | - |
| 24 | 461,38 | 296,36 | 15% | 393,34 | 69,30 | | |
| 25 | 461,38 | 298,56 | 14% | 396,25 | 66,39 | | |
| 26 | 461,38 | 300,75 | 14% | 399,16 | 63,48 | | |
| 27 | 461,38 | 302,94 | 13% | 402,07 | 60,57 | | |

⁹⁶ Calculado através do emprego da Equação 4 da metodologia proposta⁹⁷ Calculada através do item 4 da metodologia proposta⁹⁸ Calculada através do item 8 da metodologia proposta⁹⁹ Calculado através do item 8.1 da metodologia proposta

Tabela 30 – Estimativa *ex ante* do volume de créditos de carbono

(conclusão)

| Ano do projeto | Remoção líquida estimada de GEE do tratamento MF-EIR (Mg CO ₂ -e ha ⁻¹) | Remoção líquida estimada de GEE do tratamento EC (Mg CO ₂ -e ha ⁻¹) | Fator de redução atrelado à EC ¹⁰⁰ | Remoção líquida ex ante de GEE da linha de base ¹⁰¹ (Mg CO ₂ -e ha ⁻¹) | Remoções antrópicas líquidas de GEE por sumidouros ¹⁰² (Mg CO ₂ -e ha ⁻¹) | Créditos de carbono emitidos por verificação (Unidades ha ⁻¹) | VCUs equivalentes à média de longo prazo dos benefícios do carbono ¹⁰³ (Unidades ha ⁻¹) |
|----------------|--|--|---|--|---|---|--|
| 28 | 461,38 | 305,14 | 12% | 404,98 | 57,66 | 57,66 | - |
| 29 | 461,38 | 307,33 | 12% | 407,89 | 54,75 | | |
| 30 | 461,38 | 309,53 | 11% | 410,80 | 51,84 | | |
| 31 | 461,38 | 311,72 | 11% | 413,72 | 48,92 | | |
| 32 | 461,38 | 313,91 | 10% | 416,63 | 46,01 | | |
| 33 | 461,38 | 316,11 | 9% | 419,54 | 43,10 | 43,10 | - |
| 34 | 461,38 | 318,30 | 9% | 422,45 | 40,19 | | |
| 35 | 461,38 | 320,49 | 8% | 425,36 | 37,28 | | |
| 36 | 461,38 | 322,69 | 7% | 428,27 | 34,37 | | |
| 37 | 461,38 | 324,88 | 7% | 431,18 | 31,46 | | |
| 38 | 461,38 | 327,07 | 6% | 434,10 | 28,54 | 28,54 | - |
| 39 | 461,38 | 329,27 | 6% | 437,01 | 25,63 | | |
| 40 | 461,38 | 331,46 | 5% | 439,92 | 22,72 | | |
| 41 | 461,38 | 333,65 | 4% | 442,83 | 19,81 | | |
| 42 | 461,38 | 335,85 | 4% | 445,74 | 16,90 | | |
| 43 | 461,38 | 338,04 | 3% | 448,65 | 13,99 | 13,99 | - |
| 44 | 461,38 | 340,24 | 2% | 451,56 | 11,08 | | |
| 45 | 461,38 | 342,43 | 2% | 454,47 | 8,17 | | |
| 46 | 461,38 | 344,62 | 1% | 457,39 | 5,25 | | |
| 47 | 461,38 | 346,82 | 1% | 460,30 | 2,34 | | |
| 48 | 461,38 | 348,58 | 0% | 461,38 | 0 | 0 | - |
| Soma | | | | | 2.966,84 | 592,27 | 61,81 |
| Média | | | | | 61,81 | | |

Nota: Ano zero considerado como de atividade pré-projeto de carbono.

Os resultados apontam que apenas após 48 anos, os estoques de carbono retornariam ao seu valor inicial pré-exploração sob o cenário da EC. Este é, portanto, o período de crédito do projeto de carbono (ver item 8.1 da metodologia proposta). Sob o cenário do MF-EIR, os estoques de carbono retornariam ao seu valor inicial

¹⁰⁰ Calculado através do emprego da Equação 4 da metodologia proposta

¹⁰¹ Calculada através do item 4 da metodologia proposta

¹⁰² Calculada através do item 8 da metodologia proposta

¹⁰³ Calculado através do item 8.1 da metodologia proposta

pré-exploração 22 após a colheita, sendo recuperado, portanto, dentro do intervalo entre as rotações estipulado pela legislação brasileira, de 35 anos (BRASIL, 2009).

A média de longo prazo dos benefícios do carbono estimada foi de 61,81 Mg CO₂-e ha⁻¹, equivalente a 61,81 VCU¹⁰⁴ ha⁻¹.

Ainda, conforme estipulado pelo VCS (2011a), uma porcentagem dos VCUs do projeto devem ser mantidos em um *buffer* de créditos de forma a mitigar o risco de não-permanência do carbono adicional (ver item 2.2.2.12 do Cap. 2 desta dissertação).

Essa porcentagem foi calculada através da ferramenta "AFOLU Non-Permanence Risk Tool" (VCS, 2011e). Embora o cálculo preciso desta porcentagem necessite de informações detalhadas, disponíveis apenas em um contexto real de projeto, ela foi estimada, de forma geral, em 15%.

O volume *ex ante* de VCUs passíveis de comercialização, contando com a redução estimada de 15% para a mitigação do risco de não-permanência do projeto, foi de 52,54 VCUs ha⁻¹.

Muitos dos custos das atividades de um projeto de carbono variam em função da área do projeto, portanto, para os três cenários avaliados, os seguintes custos dispostos na Tabela 31 foram utilizados. O resultado da análise econômica para os cenários considerados é apresentado na Tabela 32.

Segundo a resolução CONAMA n^o 406/2009, o volume máximo de madeira explorado no Plano de Manejo Florestal Sustentável que prevê a utilização de máquinas para o arraste de toras não deve ultrapassar 30 m³ ha⁻¹ para um ciclo de corte de 35 anos (BRASIL, 2009).

¹⁰⁴ Verified Carbon Units

Tabela 31 – Custos considerados das atividades atreladas ao projeto para efeito das análises econômicas sob os cenários de área do projeto considerados

| Atividade | Área do projeto | | | |
|---------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | 500 ha | 1.000 ha | 5.000 ha | 10.000 ha |
| Desenvolvimento do PIN ¹⁰⁵ | US\$ 10 k | US\$ 10 k | US\$ 10 k | US\$ 10 k |
| Desenvolvimento do DCP | US\$ 40 k | US\$ 40 k | US\$ 40 k | US\$ 40 k |
| Validação | US\$ 25 k | US\$ 35 k | US\$ 40 k | US\$ 50 k |
| Monitoramento | US\$ 20 ha ⁻¹ |
| Verificação | US\$ 20 k | US\$ 25 k | US\$ 30 k | US\$ 35 k |

Tabela 32 – VPL dos cenários de projetos de carbono em função da área e do preço do VCU

| | | Preço da VCU | | |
|-----------------|-----------|--------------|-----------|------------|
| | | US\$ 5,00 | US\$ 7,50 | US\$ 10,00 |
| Área do projeto | 500 ha | VPL < 0 | VPL < 0 | VPL < 0 |
| | 1.000 ha | VPL < 0 | 3.382 | 119.454 |
| | 5.000 ha | 308.328 | 888.685 | 1.469.042 |
| | 10.000 ha | 834.911 | 1.998.626 | 3.159.340 |

O modelo utilizado estimou que os estoques de carbono retornariam ao seu valor inicial pré-exploração 22 após a colheita. Neste caso, não existe postergação para o início do segundo ciclo de corte. Entretanto, a fim de avaliar o impacto econômico de um possível projeto onde os estoques de carbono retornariam ao seu valor inicial após o tempo de intervalo entre as rotações (ou seja, após 35 anos), utilizou-se o tempo de 48 anos (sendo identificado como o pior dos cenários para um projeto de carbono envolvendo o MF-EIR, uma vez que este tempo de recuperação

¹⁰⁵ Project Idea Note, termo utilizado pelo MDL referente ao relatório inicial sobre a viabilidade do projeto de carbono

foi o estimado para a EC). Assumindo-se um período para recuperação dos estoques de carbono da área do projeto ao nível pré-exploratório de 48 anos, ocorreria a postergação do início do segundo ciclo de corte em 13 anos. A fim de se comparar o *trade-off* entre a comercialização dos créditos de carbono do projeto de carbono e a postergação da receita do segundo ciclo de corte, capitalizou-se o lucro do carbono recebido no terceiro ano do projeto, a uma taxa anual de 12% ao ano, até o ano 35 do projeto e comparou-se esse valor ao rendimento relativo da comercialização da madeira do segundo ciclo de corte, caso esta ocorresse 13 anos mais cedo, o que de fato ocorreria na ausência do projeto de carbono.

Para estimar a margem de lucro da exploração madeireira, utilizou-se o valor encontrado por Holmes et al. (1996) para o custo total do metro cúbico da madeira produzida na Amazônia Oriental através do MF-EIR, de US\$ 13,62 por metro cúbico (não inflacionado e, portanto, conservador), e o preço médio de venda da madeira em tora praticado no estado do Pará em 2009, de US\$ 118 por metro cúbico (PEREIRA et al., 2010). O lucro superestimado da comercialização da madeira em tora resultou, portanto, em US\$ 104,38 m⁻³. Multiplicando-se esse valor pelo volume máximo permitido de exploração por hectare, de 30 m³ ha⁻¹, tem-se o lucro estimado de US\$ 3.131,40 ha⁻¹.

Substituindo as variáveis conhecidas na Equação 4.1, temos então que:

$$C \cdot (1 + 0,12)^{32} = 3.131,40 \cdot (1 + 0,12)^{13} - 3.131,40$$

Isolando C (lucro da comercialização dos créditos de carbonos do projeto, US\$ ha⁻¹) e resolvendo a equação, chega-se ao valor de US\$ 280,25 ha⁻¹. Uma vez que o volume *ex ante* de créditos de carbono passíveis de comercialização foi estimado em 52,54 VCUs ha⁻¹, ao dividir o lucro da comercialização dos créditos (US\$ ha⁻¹) pelo número de créditos de carbono do projeto (VCUs ha⁻¹), chega-se a um valor de US\$ 5,33 por VCU, a partir do qual existe a compensação econômica do projeto de carbono em detrimento do início do segundo ciclo de corte da área florestal em questão, sob o pior dos cenários de um projeto de carbono envolvendo a conversão da EC para o MF-EIR.

4.5 Discussão

Inúmeros autores destacam o uso do mercado de carbono como instrumento de PSA relacionados ao manejo sustentável de florestas tropicais com o emprego das técnicas de exploração de impacto reduzido (WUNDER, 2005; 2006; PUTZ et al., 2008, 2011; MAZZEI et al. 2010; PFAFF et al., 2010; NASI et al., 2011; MEDJIBE et al., 2011).

Os resultados alcançados revelam informações pioneiras sobre o impacto do MF-EIR do ponto de vista de um projeto de crédito de carbono envolvendo a conversão da EC para o MF-EIR.

Não obstante, é necessário destacar as peculiaridades dos resultados alcançados. Variações nos valores considerados para os cálculos podem resultar em cenários econômicos totalmente distintos sobre a viabilidade de projetos de carbono envolvendo este tipo de atividade.

O valor encontrado para o crédito de carbono, gerado pela atividade de projeto em questão, de US\$ 5,33 por VCU, está abaixo dos valores médios observados por Hamilton et al. (2009), o que implica dizer que o retorno financeiro de um projeto deste tipo dificilmente seria menos rentável ao madeireiro, mesmo implicando na postergação do início do segundo ciclo de corte em sua área florestal, por esperar os estoques de carbono da biomassa arbórea viva retornarem ao patamar da situação pré-exploração.

Os custos atrelados ao projeto de carbono, alguns fixos, outros não, porém não lineares à escala do projeto, não obstante, são limitadores de projetos de pequena escala, como demonstrado na Tabela 32. Todavia, esta é uma barreira para projetos florestais de carbono em geral. Uma das possíveis soluções para este problema foi criada pela UNFCCC e é conhecida como Programa de Atividades (PoA¹⁰⁶, sigla em inglês) (UNFCCC, 2006), onde diversos projetos de MDL similares, em conformidade com as atividades descritas por um PoA, podem ser aprovados no âmbito de um PoA previamente aprovado, reduzindo dessa forma, mesmo que parcialmente, o problema da viabilidade econômica dos projetos de carbono de pequena escala. Alguns padrões do mercado voluntário, como o CCBS, vem trabalhando em uma adaptação da ideia de uma PoA de acordo com suas próprias

¹⁰⁶ Program of Activities

regras. O VCS já apresenta diretrizes próprias para PoA, chamados de "Grouped Projects" no âmbito do VCS (VCS, 2011d). Certamente, um futuro esquema REDD+ também seguirá esta tendência.

4.6 Conclusão

O volume de créditos de carbono estimado para o projeto envolvendo a conversão da EC para o MF-EIR foi de 61,81 VCUs ha⁻¹, considerando um *buffer* de créditos da ordem de 15%, o volume dos créditos passível de comercialização passou para 52,54 VCUs ha⁻¹.

A análise econômica realizada, considerando cenários distintos envolvendo a área do projeto (500; 1.000; 5.000; e 10.000 ha) e o preço do crédito de carbono (US\$ 5,00; US\$ 7,50; e US\$ 10,00 unidade⁻¹), resultou em uma matriz de resultados onde apenas projetos com área superior a 1.000 ha seriam possivelmente viáveis à atividade de projeto de carbono em questão.

O valor mínimo estimado do crédito de carbono para que não haja prejuízo financeiro aos madeireiros pela postergação hipotética sob o pior dos cenários envolvendo o MF-EIR, de 13 anos, do início do segundo ciclo de corte na área do projeto (*trade-off*) (tempo este necessário para que os estoques de carbono da biomassa arbórea viva atinjam seu valor inicial pré-exploração), foi de US\$ 5,33 unidade⁻¹, estando, ainda assim, dentro da faixa de preços praticados pelo mercado de carbono apontada pela literatura.

Referências

BRASIL. Resolução nº 406, de 02 de fevereiro de 2009. Estabelece parâmetros técnicos a serem adotados na elaboração, apresentação, avaliação técnica e execução de Plano de Manejo Florestal Sustentável- PMFS com fins madeireiros, para florestas nativas e suas formas de sucessão no bioma Amazônia. **Diário Oficial**, Brasília, n. 26, p. 100, 06 fev. 2009.

HAMILTON, K.; CHOKKALINGAM, U.; BENDANA, M. **State of the forest carbon markets 2009: taking root & branching out**. New York: Ecosystem Marketplace. 2010. 72 p.

HAMILTON, K.; SJARDIN, M.; SHAPIRO, A.; MARCELLO, T. **Fortifying the foundation: state of the voluntary carbon markets 2009**. New York: Ecosystem Marketplace & New Carbon Finance, 2009. 92 p.

HOLMES, T.P.; BLATE, G.M.; ZWEEDE, J.C.; PEREIRA JUNIOR, R.; BARRETO, P.; BOLTZ, F.; BAUCH, R. Financial costs and benefits of reduced-impact logging relative to conventional logging in the Eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 163, p. 93-110. 2002.

HOUSE OF COMMONS. **The voluntary carbon offset market - sixth report of session 2006–07: report**, together with formal minutes, oral and written evidence. London: Environmental Audit Committee; The Stationery Office Limited. 2007. 235 p.

LINACRE, N.; KOSSOY, A.; AMBROSI, P. **State and trends of the carbon market 2011**. Washington: Carbon Finance at the World Bank, 2011. 78 p.

LOHMANN, L. 'Made in the USA': A short history of carbon trading. In: _____. **Carbon trading: a critical conversation on climate change, privatization and power**. Uppsala: Mediaprint, 2006. chap. 2, p. 31-69.

LOPEZ, P. **Review of forestry carbon standards: development of a tool for organizations to identify the most appropriate forestry carbon credit**. 2009. 114 p. Thesis (Master of Science) - Imperial College London, London, 2009.

MAZZEI, L.; SIST, P.; RUSCHEL, A.R.; PUTZ, F.E.; MARCO, P.; PENA, W.; RIBEIRO FERREIRA, J.E. Above-ground biomass dynamics after reduced-impact logging in the Eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, n. 3, p. 367-373, 2010.

MEDJIBE, V.P.; PUTZ, F.E.; STARKEY, M.P.; NDOUNA, A.A.; MEMIAGHE, H.R. Impacts of selective logging on above-ground forest biomass in the Monts de Cristal in Gabon. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, 2011. In press.

MERGER, E. **The role of forest carbon standards in the over-the-counter voluntary carbon market: analysis on the economic efficiency and organisational legitimacy of forest carbon standards certifying afforestation/reforestation carbon projects**. 2010. 130 p. Thesis (PhD. in Forestry Science) - Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Freiburg, 2010.

NEFF, T.; ASHFORD, L.; CALVERT, J.; DAVEY, C. DRUBIN, J.; EBELING, J.; HERRERA, T.; JANSON-SMITH, T.; LAZO, B; MOUNTAIN, R.; O'KEEFLE, S.; PANFIL, S.; THORBURN, N.; TUIITE, C.; WHEELAND, C.; YOUNG, S. **The forest carbon offsetting survey 2009**. Dublin: Ecoscurities, 2009. 33 p.

ONF INTERNATIONAL. **Bringing forest carbon projects to the market**. Paris, 2010. 164 p.

PEREIRA, D.; SANTOS, D.; VEDOVETO, M.; GUIMARÃES, J.; VERÍSSIMO, ADALBERTO. **Fatos florestais da Amazônia 2010**. Belém: Imazon, 2010. 126 p.

PETERS-STANLEY, M.; HALMILTON, K.; MARCELLO, T.; SJARDIN, M. **Back to the future** – state of the voluntary carbon markets 2011. New York: Ecosystem Marketplace & Bloomberg New Energy Finance. 2011. 79 p.

PLAFF, A.; SILLS, E.O.; AMACHER, G.S.; COREN, K.L.; STRECK, C. **Policy impacts on deforestation lessons learned from past experiences to inform new initiatives**. Durham: University of Duke, Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions, 2010. 55 p.

PUTZ, F.E.; ZULDEMA, P.A.; PINARD, M.A.; BOOT, R.G.A.; SAYER, J.A.; SHEIL, D.; SIST, P.; ELLAS; VANCLAY, J.K. Improved tropical forest management for carbon retention. **Plos Biology**, San Francisco, v. 6, p. 1368-1370, 2008.

PUTZ, F.E.; SYNNOTT, T.; PEÑA-CLAROS, M.; PINARD, M.; SHEIL, D.; VANCLAY, J.; SIST, P.; GOURLET-FLEURY, S.; GRISCOM, B.; PALMER, J.; ZAGT, R.; ZUIDEMA, P. Sustaining tropical forests with forestry. **PLoS Biology**, San Francisco, 2011. In press.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **Guidance on the registration of project activities under a programme of activities as a single CDM project activity**: version 1. EB 28. Annex 15. Boon, 2006. 2 p.

VCS ASSOCIATION. **Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU) requirements**: requirements document; version 3.0. Washington, 2011a. 46 p.

_____. **Program fee schedule**: requirements document; v.3.1. Washington, 2011b. 6 p.

_____. **AFOLU guidance: example for calculating the long-term average carbon stock for ARR projects with harvesting**: VCS guidance. Washington, 2011c. 9 p.

_____. **VCS standard**: version 3.1. Washington, 2011d. 32 p.

_____. **AFOLU non-permanence risk tool**: VCS version 3; procedural document. Washington, 2011e. 19 p.

WUNDER, S. **Payments for environmental services**: some nuts and bolts. Bogor: Center for International Forestry Research, 2005. 24 p. (Occasional Paper, 42).

_____. The efficiency of payments for environmental services in tropical conservation. **Conservation Biology**, Hoboken, v. 21, n. 1, p. 48-58, 2006.

5 CONCLUSÕES GERAIS

A metodologia para projetos de carbono envolvendo a conversão da exploração madeireira convencional (EC) para o manejo florestal com exploração de impacto reduzido (MF-EIR) estima o carbono adicional da regeneração florestal pós-exploração, em conformidade com as regras atuais do padrão para o mercado voluntário de carbono *Verified Carbon Standard* (VCS), que provavelmente servirão de guia, mesmo que parcialmente, ao provável programa futuro REDD+. Os passos descritos nela foram baseados em metodologias e ferramentas de cálculo aprovadas e na linearidade dos estoques de carbono entre os anos monitorados. A metodologia se apresentou funcional e nenhum fator foi identificado como de impedimento para sua aprovação no âmbito do VCS.

A estimativa da linha de base da metodologia depende, todavia, de dados e/ou modelos sobre a regeneração florestal explorada através da EC, ainda escassos na literatura. Não obstante, o incentivo financeiro dos créditos de carbono pode, contudo, fomentar pesquisas científicas que contribuam para o melhor entendimento e a construção de cenários mais prováveis sobre a dinâmica de tal regeneração.

Destaca-se que incluir o reservatório de matéria morta em atividades de projetos de carbono envolvendo a conversão da EC para o MF-EIR contradiz os conceitos de pagamento por serviços ambientais, uma vez que passa-se a atribuir a mesma importância do carbono no reservatório de carbono da biomassa viva e para o carbono no reservatório da matéria morta.

As variações entre estoques de carbono, expressos em Mg ha^{-1} , pré e pós-exploração observados em cada tratamento, quando comparados através da média e de seus respectivos intervalos de confiança entre as 28 sub-parcelas instaladas não foram diferenciados estatisticamente de forma satisfatória, uma vez que os valores para os desvios padrão observados foram relativamente altos. Ainda, a inconsistência da normalidade na distribuição dos dados comparados levou ao emprego de diferentes testes estatísticos para dados pareados, que dão tratamentos diferentes aos mesmos, implicando em resultados que não podem ser consistentemente comparados. Todavia, salvo as limitações encontradas, os estoques de carbono observados para o tratamento MF-EIR apresentaram taxa de reposição superior quando comparado ao tratamento EC.

Os modelos de regeneração gerados para os tratamentos MF-EIR e EC estimaram valores similares aos observados, não obstante, cabe destacar que modelos lineares são simplistas para explicar eventos combinados de crescimento, recrutamento e mortalidade, como pode ser observado em seus baixos coeficientes de determinação. Sugere-se, para estudos futuros, a adaptação de modelos ecológicos mais robustos, como o do SIMFLORA.

A comparação entre os tratamentos MF-EIR e EC em relação às suas taxas de regeneração apontou diferenças estatísticas significativas ($P < 0,001$). O tratamento MF-EIR apresentou um incremento médio observado de $12,30 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e estimado de $13,01 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, enquanto que o tratamento EC apresentou um incremento médio observado de $5,42 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e estimado de $5,43 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, para um período de 16 anos de regeneração pós-exploração.

O volume de créditos de carbono estimado para o projeto envolvendo a conversão da EC para o MF-EIR foi de $61,81 \text{ VCU} \text{ ha}^{-1}$. Considerando um *buffer* de créditos da ordem de 15%, o volume dos créditos passível de comercialização passou para $52,54 \text{ VCU} \text{ ha}^{-1}$.

A análise econômica realizada, considerando cenários distintos envolvendo a área do projeto (500; 1.000; 5.000; e 10.000 ha) e o preço do crédito de carbono (US\$ 5,00; US\$ 7,50; e US\$ 10,00 unidade⁻¹), resultou em uma matriz de resultados onde apenas projetos com área superior a 1.000 ha seriam possivelmente viáveis à atividade de projeto de carbono em questão.

Por fim, o valor mínimo estimado do crédito de carbono para que não haja prejuízo financeiro aos madeireiros pela postergação hipotética sob o pior dos cenários envolvendo o MF-EIR, de 13 anos, do início do segundo ciclo de corte na área do projeto (*trade-off*) (tempo este necessário para que os estoques de carbono da biomassa arbórea viva atinjam seu valor inicial pré-exploração), foi de US\$ 5,33 unidade⁻¹, estando, ainda assim, dentro da faixa de preços praticados pelo mercado de carbono apontada pela literatura.

ANEXOS

ANEXO A

Ferramenta adaptada para comprovação da adicionalidade do projeto envolvendo a conversão da EC para o MF-EIR no âmbito do VCS

O proponente do projeto deve seguir os seguintes passos para comprovar a adicionalidade do projeto IFM envolvendo a conversão da EC para o MF-EIR:

PASSO 0. Projeção preliminar baseada na data de início do projeto

PASSO 1. Identificação de cenários alternativos

PASSO 2. Análise de barreiras

PASSO 3. Análise de investimento

PASSO 4. Análise de práticas comuns

PASSO 0. Projeção preliminar baseada na data de início do projeto

A data de início do período de crédito do projeto e data de início do projeto devem estar de acordo com o versão mais recente das regras do VCS.

PASSO 1. Identificação de cenários alternativos

Sub-passo 1a. Identificando cenários alternativos credíveis de uso da terra

Identificar cenários realísticos de uso da terra que ocorreriam dentro da fronteira do projeto na ausência da atividade do projeto de MF-EIR. Esses cenários devem ser viáveis para os participantes do projeto ou similares proponentes de projeto, levando em conta políticas nacionais e ou setoriais e circunstâncias como uso histórico da terra, práticas comuns e tendências econômicas. Entre os cenários identificados deve-se incluir pelo menos:

(1) Exploração convencional madeireira (EC).

(2) MF-EIR sem o incentivo financeiro da comercialização dos créditos de carbono.

(3) Se aplicável, MF-EIR em pelo menos uma parte dentro dos limites da área do projeto proposto, sendo resultado de: (a) exigências legais ou (b) extrapolação de atividades de MF-EIR em área geográfica, socioeconômica e ecologicamente similar a área do projeto.

Para a identificação de cenários de uso da terra realísticos e credíveis, devem ser utilizados dados sobre registros de uso da terra, amostragens de campo, dados

e *feedbacks* das partes interessadas e informações de outras fontes apropriadas, incluindo Avaliação Rural Participativa.

Todos os cenários identificados devem ser credíveis e sua credibilidade deve ser justificada incluindo elementos como: informações sobre o planejamento espacial da região ou exigências legais, incluindo avaliações sobre a viabilidade econômica dos cenários propostos.

Como resultado do sub-passo 1a deve-se obter uma lista de credíveis cenários para o uso da terra que poderiam ocorrer na ausência do projeto de MF-EIR.

Sub-passo 1b. Consistência dos cenários alternativos credíveis de uso da terra conforme as exigências e regulações legais impostas.

O proponente do projeto deve demonstrar que todos os cenários identificados no sub-passo 1a estão em conformidade com as exigências legais e requisitos regulamentares.

Se algum dos cenários alternativos não estiver em conformidade com o exigido, como deve ser o caso da EC, deve-se demonstrar que, baseando-se na análise das práticas comuns na região do projeto, que exigências legais ou os requisitos regulamentares são sistematicamente desobedecidos e que o não cumprimento dessas exigências é generalizado, por exemplo: prevalente em pelo menos 30% da área da menor unidade administrativa que abrange a área do projeto.

Deve-se remover dos cenários alternativos identificados no sub-passo 1a qualquer cenário resultado de exigências legais e regulamentos, a não ser que possa ser comprovado que, novamente, esses cenários sejam resultados do não cumprimento das leis e regulamentações aplicáveis.

Como resultado do sub-passo 1b deve-se obter uma lista de credíveis cenários para o uso da terra em conformidade com as exigências legais e requisitos regulamentares levando em conta seus cumprimentos na região ou país.

Caso a lista de cenários esteja vazia após a execução do sub-passo 1b, o projeto não é adicional.

PASSO 2. Análise de barreiras

Esse passo serve para identificar barreiras e avaliar quais dos cenários identificados no sub-passo 1b não são impedidos por estas barreiras.

Sub-passo 2a. Identificando as barreiras que impediriam a implementação de pelo menos um cenário alternativo de uso da terra

Identificar barreiras reais e credíveis que impedem a realização de cenários identificados no sub-passo 1b. As barreiras não devem ser específicas para os participantes do projeto, mas devem ser aplicáveis para outros interessados em desenvolver a mesma atividade do projeto. Tais barreiras podem incluir, entre outras:

(1) Análise de investimento (com exceção das análises exigidas no Passo 3 sobre retorno insuficiente de investimento), como: atividades similares só foram executadas com doações ou outras formas não-comerciais de financiamento (neste contexto, atividades similares são definidas como atividades de mesma escala, que ocorrem em um ambiente semelhante, respeitando um quadro regulamentador e implantadas em uma área geográfica relevante para o projeto proposto); falta de disponibilidade de capital nacional ou internacional devido aos riscos associados aos investimentos nas atividades sob o cenário proposto no país em que será implantado o projeto, demonstrada através da avaliação de crédito do país ou outro relatório fidedigno sobre investimentos no país; indisponibilidade de financiamento de dívida nos cenários de uso da terra; falta de acesso à linhas de crédito;

(2) Barreiras institucionais, como: riscos relacionados com mudanças de leis e políticas governamentais; não cumprimento da legislação relacionada ao uso da terra;

(3) Barreiras tecnológicas, como: falta de acesso aos materiais necessários, como por exemplo tratores florestais; falta de infraestrutura para implementação da tecnologia;

(4) Barreiras relacionadas às tradições locais, como: conhecimento tradicional ou falta dele, leis e costumes, condições e práticas de mercado; equipamentos e tecnologias tradicionais;

(5) Barreiras relacionadas às práticas vigentes, como: a atividade de projeto proposta é a primeira do tipo na região do projeto ou nenhuma atividade do tipo está ocorrendo na região projeto;

(6) Barreiras devido às condições ecológicas locais, como: solos degradados; catástrofes naturais ou eventos induzidos pelos homens; condições meteorológicas desfavoráveis; espécies invasoras oportunistas que comprometem o uso da terra;

curtos desfavoráveis de sucessão ecológica; pressões bióticas em termos de pastagens, subsistência, etc.;

(7) Barreiras devido às condições sociais, como: pressões demográficas sobre a terra; conflitos entre grupos de interesse na região do projeto; práticas ilegais generalizadas; falta de trabalhadores treinamento experientes ou bem treinados; falta de organização das comunidades locais;

(8) Barreiras relativas à posse da terra, da propriedade, herança e direitos sobre a propriedade, como: posse comunal da terra com hierarquia de direitos para diferentes partes interessadas limitam os incentivos de comprometimento com os cenários de uso da terra; falta de legislação e regulação adequada sobre posse da terra; ausência de clareza definida e regulada dos direitos sobre a propriedade em relação aos produtos e serviços dos recursos naturais; sistemas formais e informais sobre a posse da terra que aumentam os riscos de fragmentação das áreas; possibilidade de grandes riscos devido às flutuações nos preços de produtos durante o período do projeto na ausência de mercados eficientes e mecanismos de seguros; barreiras relacionadas aos mercados, transporte e estocagem; mercados não regulados e informais para produtos e serviços impedindo a transmissão de informações eficaz aos participantes do projeto; áreas remotas e estradas e infraestrutura subdesenvolvidas implicando em custos elevados de transporte, comprometendo a competitividade e rentabilidade dos produtos oriundos do uso da terra; possibilidade de grandes riscos de flutuações nos preços dos produtos durante o período do projeto na ausência de mercados eficientes e mecanismos de seguro; ausência de instalações para converter, armazenar e agregar valor aos produtos resultantes do uso da terra impossibilitam arrendamentos segundo o cenário de uso da terra.

Como resultado do passo 2a deve-se obter uma lista de barreiras que possam impedir um ou mais cenários de uso da terra identificados no passo 1b.

Sub-passo 2b. Lista de cenários de uso da terra que não são limitados por nenhuma barreira

Aplicando-se o sub-passo 2a e 2b deve-se providenciar evidências documentadas e transparentes, fornecendo interpretações conservadoras dessas evidências, de modo a demonstrar a existência e significâncias das barreiras identificadas. Tais evidências podem incluir, entre outras:

- (1) Informações sobre leis ou regulações relevantes ou normas, atos e regras sobre o manejo dos recursos naturais/ambientais;
- (2) Estudos setoriais ou amostragens relevantes desenvolvidos por universidades, instituições de pesquisa, associações, companhias, etc.;
- (3) Dados estatísticos relevantes de organizações nacionais ou internacionais;
- (4) Documentos de dados de mercado relevantes (preços, tarifas, etc.);
- (5) Documentos preparados pelo proponente do projeto, empreiteiros ou parceiros do projeto no contexto da implementação da atividade do projeto ou projeto similar anterior;
- (6) Documentação escrita de julgamentos de especialistas independentes em uso da terra de corpos do governo, não governamentais ou individuais, instituições de pesquisa, associações profissionais, entre outros.

Sub-passo 2c. Determinação do cenário da linha de base (se permitido pela análise de barreiras)

Se a atividade do projeto MF-EIR estiver incluída na lista de cenários não impedidos por nenhuma barreira, então o projeto não é adicional.

Se a lista conter apenas um cenário para o uso da terra, envolvendo a EC, então este é o cenário da linha de base e deve-se continuar com o passo 4, caso contrário essa metodologia em questão não pode ser utilizada.

Se a lista conter mais de um cenário para a linha de base, deve-se quantificar as remoções de GEE para cada cenário identificado e selecionar uma das opções: (a) o cenário da linha de base é aquele que apresenta a maior redução de GEE, nesse caso deve-se continuar com o passo 4 ou (b) continuar com o passo 3.

PASSO 3. Análise de investimento

Esse passo serve para determinar qual dos cenários remanescentes de uso da terra identificados no sub-passo 2b é o mais economicamente ou financeiramente atrativo. Para esse propósito, deve-se conduzir uma análise comparativa de investimentos.

Sub-passo 3a. Determinando o método de análise apropriado

Deve-se utilizar o método de análise, dentre as opções a seguir, mais adequado ao contexto do projeto:

Opção I - Análise de comparação de investimento: Identificando algum indicador financeiro como TIR, VPL, período de retorno do investimento, relação custo benefício, mais apropriado ao projeto e ao contexto de tomada de decisão.

Opção II - Análise de *benchmarking*: A análise de *benchmarking* deve ser conduzida conforme a apresentado na última versão da ferramenta "Combined tool to identify the baseline scenario and demonstrate addicionality in AR/ CDM project activities" ou substituta recomendada pelo VCS.

Sub-passo 3b. Calculando e comparando os indicadores financeiros

Deve-se aplicar indicador financeiro escolhido ao projeto MF-EIR, sem considerar as receitas esperadas oriundas do mercado de carbono, e aos demais cenários listados como resultado do sub-passo 2b, incluindo todos os custos relevantes.

Os resultados devem ser apresentados de forma transparente de modo que o leitor possa reproduzir as análises realizadas e obter os mesmos resultados. Parâmetros econômicos críticos e suposições devem ser claramente apresentadas, de modo que possam ser validadas. O risco do projeto pode ser incluído ao longo do fluxo de caixa, sujeito a expectativas específicas e suposições.

Caso o cenário da atividade do projeto MF-EIR esteja identificado no sub-passo 2b e não apresente o indicador financeiro menos favorável, então o projeto não é adicional, caso contrário, deve-se proceder com o sub-passo 3c. Caso o cenário da atividade do projeto MF-EIR não esteja identificado no sub-passo 2b, deve-se selecionar o cenário com o maior valor para o indicador financeiro analisado e proceder com o sub-passo 3c.

Para a análise de *benchmarking*, caso o cenário da atividade do projeto MF-EIR esteja identificado no sub-passo 2b e apresente o valor do indicador financeiro superior ao da análise de *benchmarking*, então o projeto não é adicional, caso o valor seja inferior e pelo menos um indicador de outro cenário identificado no sub-passo 2b seja superior ao da análise de *benchmarking*, deve-se proceder para o sub-passo 3c. Caso nenhum dos valores dos indicadores dos cenários identificados no sub-passo 2b seja superior ao da análise de *benchmarking*, o cenário da linha de base é a continuação do uso atual da terra, no caso a EC.

Caso a atividade do projeto MF-EIR não esteja identificada no sub-passo 2b, se pelo menos um cenários identificados no sub-passo 2b apresentar o valor do

indicador financeiro superior ao da análise de *benchmarking*, deve-se utilizar o cenário com o maior valor do indicador financeiro e proceder para o sub-passo 3, caso contrário, o cenário da linha de base é a continuação do uso atual da terra, no caso a EC.

Sub-passo 3c. Análise de sensibilidade

Essa análise avalia a atratividade do cenário da linha de base em função de variações nas suposições críticas assumidas. A análise de investimento pode identificar o cenário da linha de base somente se as conclusões dos passos anteriores forem consistentes.

Se a análise de sensibilidade for conclusiva, deve-se prosseguir com o passo 4. Caso não seja, e o cenário da linha de base esteja identificado no sub-passo 2b, então o projeto não é adicional; se o cenário não estiver identificado no sub-passo 2b, então se deve selecionar o cenário da linha de base que apresenta a maior redução de GEE.

Como resultado do passo 3 deve ser identificado o cenário da linha de base mais atrativo econômica e financeiramente para a área do projeto.

O resultado final para o cenário da linha de base do projeto deve ser o da EC, do contrário a metodologia proposta não pode ser utilizada.

PASSO 4. Análise de práticas comuns

O passo anterior deve ser complementado com uma análise da difusão da atividade de MF-EIR na área geográfica do projeto.

Deve-se providenciar uma análise de atividades similares de MF-EIR, de escalas similares e ocorrendo sob as mesmas regulamentações dentro de uma área relevante para projeto. Outros projetos de carbono não devem ser inclusos nessa análise. Tais atividades devem ter ocorrido dentro de um limite de até 10 anos (VCS, 2010f).

Se forem identificadas atividades similares ao do projeto MF-EIR, deve-se compará-las ao projeto proposto e indicar distinções essenciais entre elas. Tais distinções podem ser incluir circunstâncias de implementação dos projetos, como barreiras, políticas promocionais, subsídios. Se os projetos anteriores se utilizaram de mecanismos de incentivos financeiros, deve-se explicar porque o projeto proposto não pode se utilizar dos mesmos. Se aplicável, deve-se explicar por que os projetos

similares anteriores não enfrentaram as barreiras às quais o projeto proposto está sujeito a enfrentar.

Se não forem encontradas distinções essenciais entre os projetos similares anteriores e o projeto MF-EIR proposto, então o projeto não é adicional. Caso contrário à atividade do projeto não é a da linha de base e o projeto é adicional.

ANEXO B

Metodologia para projetos de crédito de carbono envolvendo a conversão da exploração madeireira convencional para manejo florestal com exploração de impacto reduzido

A metodologia a seguir está formatada de acordo com as metodologias florestais aprovadas pela UNFCCC e emprega as abreviações de unidades utilizadas pelas mesmas.

"METODOLOGIA PARA CONVERSÃO DA EXPLORAÇÃO MADEIREIRA CONVENCIONAL PARA MANEJO FLORESTAL COM EXPLORAÇÃO DE IMPACTO REDUZIDO"

(Versão 1.0)

I. FONTE, DEFINIÇÃO E APLICABILIDADE

1. Introdução

Esta metodologia é aplicável às atividades de projeto que reduzem a concentração de gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera através da conversão de áreas florestais exploradas convencionalmente (EC) para o manejo florestal com exploração de impacto reduzido (MF-EIR).

As atividades envolvendo MF-EIR reduzem os danos colaterais sofrido pela floresta durante a exploração, contribuindo para a manutenção dos estoques de carbono e o sequestro de carbono durante o período entre os ciclos de corte.

2. Fonte

Esta metodologia é baseada em elementos das seguintes metodologias:

- AR-ACM0001 "Afforestation and reforestation of degraded land" (v.05.1.1);
- VCS VM0009 "Methodology for Avoided Mosaic Deforestation of Tropical Forests" (v.1.0);
- VCS VM0011 "Methodology for Calculating GHG Benefits from Preventing Planned Degradation" (v1.0).

Esta metodologia faz referência as últimas versões aprovadas das seguintes ferramentas, guias e regras:

- Approved VCS Tool VT0002 "Tool for the Demonstration and Assessment of Additionality in IFM Project Activities" (v.1.0);
- VCS "Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU) Requirements" (v.3);
- A/R Methodological Tool "Estimation of carbon stocks and change in carbon stocks of trees and shrubs in A/R CDM project activities" (v.02.1.0);
- VCS "AFOLU Guidance: Example for Calculating the Long-Term Average Carbon Stock for ARR Projects with Harvesting";
- A/R Methodological Tool "Tool for testing significance of GHG emissions in A/R CDM project activities" (v.01).
- VCS "AFOLU Non-Permanence Risk Tool" (v.3.0).

3. Aplicabilidade

A metodologia é aplicável sob os seguintes critérios apresentados na seguinte tabela:

Tabela 1 - Critérios de aplicabilidade da metodologia

| Critério | Descrição |
|--|---|
| Tipo de projeto | Melhoria do Manejo Florestal; com remoções (colheita) ocorrendo dentro da área do Projeto |
| Condições da floresta | Floresta intacta ou floresta previamente explorada. A área não se enquadra na categoria de pântanos ¹⁰⁷ |
| Tipo de floresta | Florestas tropicais |
| Agentes da degradação | Madeireiros que exploram a floresta de forma convencional (sem planejamento) |
| Atividades da linha de base a serem deslocadas | EC autorizada ou não pelo órgão regulador local, desde que o não cumprimento da lei seja sistematicamente generalizado na região do projeto |
| Área do projeto | Deve possuir autorização para EC ou localizar-se em uma região onde o não cumprimento das exigências legais sobre o MF-EIR seja sistematicamente generalizado |

II. METODOLOGIA DA LINHA DE BASE

1. Fronteira do projeto e elegibilidade da terra

A área do projeto deve se enquadrar na definição nacional de floresta, na ausência desta, deve-se enquadrar na definição estabelecida pelo Protocolo de Kyoto.

¹⁰⁷ "Wetlands", definida pelo *Good Practice Guidance for Land Use, Land-use Change and Forestry* (IPCC, 2003).

A fronteira geográfica do projeto deve incluir a área do projeto e a área de vazamento e deve estar devidamente autorizada, pelo autoridade reguladora responsável, a realizar o MF-EIR. Uma vez que o projeto comece, sua área é fixa até o fim do período de crédito do projeto.

O proponente do projeto deve fornecer documentos oficiais sobre as fronteiras da área do projeto, além das informações sobre: nome do área, localização dos diferentes extratos, localização das áreas de exploração identificadas por números e coordenadas geográficas georeferenciadas, mapas digitais da área do projeto, seus extratos e áreas de exploração, e mapa da área de vazamento, quando existir.

Caso o projeto envolva múltiplas áreas de exploração espaçadas, deve ser fornecido um mapa para cada área e ser apresentadas as mesmas informações mencionadas acima.

Os reservatórios de carbono incluídos e excluídos da contabilização estão presentes na tabela a seguir:

Tabela 2 - Reservatórios de carbono contabilizados dentro dos limites do projeto

| Reservatório | Selecionado | Justificativa |
|---|--------------------|---|
| Biomassa arbórea acima do solo ¹⁰⁸ | Sim | Reservatório de carbono diretamente submetido à atividade do projeto MF-EIR |
| Biomassa não-arbórea acima do solo | Não ¹⁰⁹ | Espera-se que este reservatório aumente com a implementação do projeto MF-EIR, portanto, pode ser negligenciado conservadoramente |
| Biomassa arbórea abaixo do solo | Sim | Reservatório de carbono diretamente submetido à atividade do projeto MF-EIR |
| Biomassa não-arbórea abaixo do solo | Não | Espera-se que este reservatório aumente com a implementação do projeto MF-EIR, portanto, pode ser negligenciado conservadoramente |
| Serapilheira | Não | Espera-se que este reservatório aumente com a implementação do projeto MF-EIR, portanto, pode ser negligenciado conservadoramente |
| Matéria morta | Não | Este reservatório tende a diminuir com a atividade do projeto de MF-EIR. No entanto, o resultado dessa diminuição está associado ao aumento dos reservatórios de biomassa acima do solo, sendo, portanto, negligenciado conservadoramente |
| Solo | Não | Espera-se que este reservatório aumente com a implementação do projeto MF-EIR, |

¹⁰⁸ As estimativas da biomassa arbórea acima do solo devem ser baseadas em um DAP mínimo de amostragem, a ser estabelecido pelo proponente do projeto, padronizando a quantificação do carbono na linha de base e durante o monitoramento do projeto, e não deve ser modificado durante o período de crédito do projeto.

¹⁰⁹ Com exceção da vegetação desmatada para abertura de pátios, estradas e ramais de arraste.

| | | |
|----------------------|-----|---|
| Produtos madeireiros | Não | portanto, pode ser negligenciado conservadoramente Este reservatório tende a diminuir com a atividade do projeto de MF-EIR. No entanto, o resultado dessa diminuição está associado ao aumento dos reservatórios de biomassa acima do solo, sendo, portanto, negligenciado conservadoramente |
|----------------------|-----|---|

As fontes de emissão e seus GEE associados incluídos ou excluídos da contabilização são apresentados na Tabela 3. As emissões de CH₄ e N₂O podem ser negligenciada se a aplicação da versão atual da ferramenta "Tool for testing significance of GHG emissions in A/R CDM project activities" concluir que a fonte de emissão não é significativa.

Tabela 3 - Fontes de emissão de GEE contabilizadas dentro dos limites do projeto

| GEE | Consideração |
|------------------|--|
| CO ₂ | Incluso |
| CH ₄ | Incluso somente quando associado ao uso de combustíveis fósseis e desastres naturais, porém sujeito a análise de significância |
| N ₂ O | Incluso somente quando associado ao uso de combustíveis fósseis e desastres naturais, porém sujeito a análise de significância |

2. Seleção da linha de base entre as alternativas de cenários

A seleção do cenário da linha de base deve ser realizada com o emprego da última versão da ferramenta "Tool for Demonstration and Assessment of Additionality in IFM Projects Activities".

O cenário mais provável da linha de base do projeto deve ser o da EC, caso contrário a metodologia não pode ser utilizada.

3. Estratificação

A estratificação do projeto deve ser realizada de forma a dividir a área florestal do projeto em unidades que minimizem as variações na vegetação, preferencialmente em função de seu estoque de biomassa ou carbono, além de minimizar os custos de amostragem. Parcelas permanentes devem ser estabelecidas para monitoramento da biomassa ao longo do período de crédito do projeto.

A estratificação pode ser conduzida através do uso de mapas de vegetação, topográficos, interpretação de fotos aéreas e imagens de satélite, seguidas de verificação em campo. Sensoriamento remoto e softwares GIS são adequados para a realização de análises espaciais e mapeamento para a estratificação.

A área do projeto é a soma das áreas definidas para cada estrato, j :

$$A_{projeto,t=0} = \sum_{j=1}^n A_{projeto,j,t=0} \quad (1)$$

Onde:

| | |
|---------------------|---|
| $A_{projeto,t=0}$ | Área do projeto onde a atividade de MF-EIR será implantada no ano zero; ha |
| $A_{projeto,j,t=0}$ | Área do estrato j onde a atividade MF-EIR será implantada no ano zero; ha |
| t | Ano do projeto |
| n | Número de extratos do projeto |

O proponente do projeto deve descrever o procedimento utilizado para a estratificação da área do projeto, incluindo mapas georeferenciados ilustrando cada estrato em detalhes. Os mapas devem ser atualizados caso ocorra qualquer alteração na estratificação no evento de uma mudança do conteúdo de carbono do estrato.

4. Estimativa *ex ante* das remoções de GEE no cenário da linha de base

Como a linha e base da metodologia envolve a EC, o balanço das remoções de GEE é resultado do impacto desta sobre o estoque de carbono da área do projeto e sua regeneração durante o período de créditos do projeto.

Sob as condições da aplicabilidade dessa metodologia:

- O cenário da linha de base considera a EC como o corte de indivíduos arbóreos com valor de mercado acima de um diâmetro mínimo a altura do peito.
- As árvores exploradas são transformadas em toras de valor comercial dentro da área do projeto. Os galhos e a folhagem são deixados no solo da floresta, sendo incorporados no reservatório de matéria morta. Os resíduos do desdobramento do fuste podem ou não ser deixados na floresta. A metodologia assume, baseada na análise de práticas comuns da atividade da EC e de forma conservadora do ponto de vista do estoque de carbono na linha de base do projeto, que os resíduos do desdobramento do fuste serão deixados em campo após a EC.

As emissões anuais da linha de base da EC serão determinadas através da seguinte equação:

$$C_{LB,t} = A_{EC,t} * \Delta R_{BA_{EC,t}} * FC * 44/12 \quad (2)$$

Onde:

| | |
|------------|--|
| $C_{LB,t}$ | Balanço anual das remoções na linha de base do projeto no ano t ; t CO ₂ -e |
| $A_{EC,t}$ | Área do projeto explorada no cenário da linha de base no ano t , ha |

| | |
|-----------------------|--|
| $\Delta R_{BA_EC,t}$ | Varição entre os volumes pré e pós-EC no reservatório da biomassa arbórea seca acima e abaixo do solo no ano t ; t m.s. ha ⁻¹ |
| FC | Fração carbono; sem dimensão |
| $44/12$ | Razão dos pesos moleculares do CO ₂ e do carbono; sem dimensão |

A variação entre os volumes pré e pós-EC no reservatório da biomassa arbórea seca acima do solo será determinada pela seguinte equação:

$$\Delta R_{BA_EC,t} = BAAS_{i_t} * F_{BAAS_EC,t} * (1 + R) \quad (3)$$

Onde:

| | |
|-----------------------|---|
| $\Delta R_{BA_EC,t}$ | Varição entre os volumes pré e pós-EC no reservatório da biomassa arbórea acima e abaixo do solo no ano t ; t m.s. ha ⁻¹ |
| $BAAS_{i_t}$ | Biomassa arbórea seca acima do solo sem a atividade exploratória no ano t ; t m.s. ha ⁻¹ |
| $F_{BAAS_EC,t}$ | Fator de redução atrelado à EC para a biomassa arbórea acima do solo no ano t ; sem dimensão |
| R | Relação raiz:biomassa acima do solo; sem dimensão |
| t^* | 1, 2, 3, ... t^* anos passados desde o início da atividade do projeto |

O fator de redução atrelado à EC para a biomassa arbórea acima do solo (F_{BAAS_EC}) é essencial para os cálculos da metodologia. Deve ser baseado em pesquisas envolvendo a regeneração de áreas de florestas exploradas de forma convencional ao longo do tempo, preferencialmente para formações florestais e de potencial madeireiro semelhantes às da área do projeto.

O F_{BAAS_EC} deve representar a redução anual do volume da biomassa arbórea acima do solo em relação ao volume esperado para o mesmo na ausência MF-EIR. Deve ser estimado para, no mínimo, cada ano em que ocorrer a verificação das remoções do projeto. Para efeito desta metodologia, assume-se a linearidade das mudanças na biomassa arbórea acima do solo ao longo do período do projeto. O F_{BAAS_EC} será definido pela seguinte equação:

$$F_{BAAS_EC,t} = (BAAS_{i_t} - BAAS_{EC_t}) / BAAS_{i_t} \quad (4)$$

Onde:

| | |
|------------------|--|
| $F_{BAAS_EC,t}$ | Fator de redução atrelado à EC para a biomassa arbórea acima do solo para o ano t ; sem dimensão |
|------------------|--|

| | |
|---------------|---|
| $BAAS_{i_t}$ | Biomassa arbórea seca acima do solo sem a atividade exploratória no ano t ; t m.s. ha ⁻¹ |
| $BAAS_{EC_t}$ | Biomassa arbórea seca acima do solo pós atividade exploratória no ano t ; t m.s. ha ⁻¹ |

A equação do fator de redução atrelado à EC para a biomassa arbórea acima do solo pode ser substituída por uma função alométrica representativa da regeneração natural da floresta pós-EC [$f(BAAS_{EC_t})$] quando adequada as condições da linha de base do projeto, ou ainda por modelos ecológicos bem conceituados, como por exemplo o SIMFLORA. Seu emprego deve ser justificado pelo proponente do projeto.

5. Estimativa *ex ante* da remoção líquida de GEE no cenário do projeto

O balanço anual das remoções do projeto MF-EIR será estimado através da seguinte equação:

$$C_{MF_EIR,t} = A_{EIR,t} * \Delta R_{BA_EIR,t} * FC * 44/12 - GEE_{E,t} \quad (5)$$

Onde:

| | |
|------------------------|--|
| $C_{MF_EIR,t}$ | Remoção líquida no cenário do projeto no ano t ; t CO ₂ -e |
| $A_{EIR,t}$ | Área do projeto manejada no ano t ; ha |
| $\Delta R_{BA_EIR,t}$ | Varição entre os volumes pré e pós-MF-EIR no reservatório da biomassa arbórea seca acima e abaixo do solo no ano t ; t m.s. ha ⁻¹ |
| FC | Fração carbono; sem dimensão |
| $44/12$ | Razão dos pesos moleculares do CO ₂ e do carbono; sem dimensão |
| $GEE_{E,t}$ | Emissões do projeto no ano t ; t CO ₂ -e |

A variação entre os volumes pré e pós-MF-EIR no reservatório da biomassa arbórea seca acima e abaixo do solo é estimada através da seguinte equação:

$$\Delta R_{BA_EIR,t} = [BAAS_{i_0} * (1 + R)] - BA_{EIR,t} \quad (6)$$

Onde:

| | |
|----------------------------|---|
| $\Delta R_{BAAS_EIR,j,t}$ | Varição entre os volumes pré e pós MF-EIR no reservatório da biomassa arbórea seca acima e abaixo do solo para no ano t ; t m.s. ha ⁻¹ |
| $BAAS_{i_0}$ | Biomassa arbórea seca acima do solo antes do início da atividade do projeto; t m.s. ha ⁻¹ |
| R | Relação raiz:biomassa acima do solo; sem dimensão |

BA_EIR_t Biomassa arbórea seca acima e abaixo do solo após o início da atividade de MF-EIR para no ano t ; t m.s. ha⁻¹

A biomassa arbórea seca acima do solo após o início da atividade de MF-EIR deve ser estimada através da seguinte equação:

$$BAAS_EIR_t = \sum_{s=1}^{s^*} (V_{t_c} * DB_s * FEB_s) * (1 + R) \quad (7)$$

ou

$$BAAS_EIR_t = \sum_{a=1}^{a^*} (f(DAP_a, DB_s)) * (1 + f(BAAS_a)) \quad (8)$$

Onde:

| | |
|------------------|--|
| $BAAS_EIR_t$ | Biomassa arbórea seca acima do solo após o início da atividade de MF-EIR no ano t ; t m.s. ha ⁻¹ |
| V_{t_c} | Volume comercial dos indivíduos arbóreos, acima do DAP mínimo estabelecido, no ano t_c ; m ³ ha ⁻¹ |
| DB_s | Densidade básica da espécie s ; t m.s. m ³ |
| FEB_s | Fator de expansão da biomassa para a espécie s ; sem dimensão |
| R | Relação raiz:biomassa acima do solo, sem dimensão |
| $f(DAP_a, DB_s)$ | Função alométrica que estima a biomassa arbórea seca acima do solo em função do DAP da árvore a e da média da densidade básica da espécie ou gênero ¹¹⁰ ; t m.s. m ³ |
| $f(BAAS_a)$ | Função alométrica que estima a biomassa arbórea seca abaixo do solo em função da biomassa arbórea seca acima do solo da árvore a ¹¹¹ ; t m.s. m ³ |
| s^* | 1, 2, 3, ... s^* espécies manejadas |
| a^* | 1, 2, 3, ... a^* árvores manejadas |

Os indivíduos arbóreos elegíveis a serem classificados como resultado do recrutamento na área do projeto durante o período de crédito do projeto devem apresentar DAP igual ou inferior a 15 cm nos inventários florestais posteriores ao início da atividade do projeto.

Os dados sobre os volumes comerciais das espécies manejadas devem vir de documentos oficiais, preferencialmente, apresentados às autoridades nacionais responsáveis que autorizam o MF-EIR na área do projeto.

¹¹⁰ Por exemplo, Chave, J., et al. *Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests*. *Oecologia* 145, 87–99. 2005

¹¹¹ Por exemplo, Tabela 4.A.4 do GLG LULUCF (IPCC, 2003)

Não deve ocorrer nova colheita madeireira na área do projeto até o final do período de crédito do mesmo, definido pelo item 8.1 desta metodologia.

6. Estimativa *ex ante* das emissões de GEE do projeto

O aumento das emissões de GEE resultantes da implementação do projeto de MF-EIR deve ser quantificado e descontado das remoções do projeto caso a soma das emissões seja significativa segundo a última versão da ferramenta "Tool for testing significance of GHG emissions in A/R CDM project activities".

As emissões de N₂O das atividades do projeto causadas pela decomposição de material orgânico são consideradas conservadoramente zero pela metodologia, uma vez que o volume de matéria morta tende a ser menor no cenário do projeto quando comparado ao da linha de base.

As emissões resultantes da implementação do projeto de MF-EIR podem ser estimadas como:

$$GEE_E = \sum_{t=1}^{t^*} GEE_{E,t} \quad (9)$$

Onde:

GEE_E Emissões do projeto associadas à atividade de MF-EIR; t CO₂-e
 t^* 1, 2, 3, ... t^* anos passados desde o início da atividade do projeto

7. Vazamentos

Esta metodologia considera que os vazamentos da degradação e exploração florestal e de mercado como as únicas fontes de vazamentos decorrentes da implementação do projeto.

Os vazamentos de mercado devem ser estimados e descontados em conformidade com as regras atuais do VCS para projetos envolvendo EIR.

Os vazamentos podem ser considerados zero quando a área a ser explorada estiver sob posse do proponente do projeto por mais de 5 anos. Caso contrário, os vazamentos devem ser estimados através da análise da região onde o projeto está inserido, identificada através dos seguintes passos¹¹²:

7.1 Delimitando a área de vazamento

A área de vazamento deve:

- Localizar-se na mesma região da área do projeto, mas não necessariamente adjacente à área do projeto;

¹¹² Adaptado da Metodologia Aprovada pelo VCS VM0009 v.1.0 " *Methodology for Avoided Mosaic Deforestation of Tropical Forests*"

- Possuir ao menos o mesmo tamanho da área florestada do projeto, sem necessidade de ser contígua à área do projeto;
- Não pode incluir partes da área do projeto;
- Deve ser inteiramente florestada na data de início do projeto.

As fronteiras e tamanho da área de vazamento devem ser definidos através dos seguintes critérios:

- a) Proximidade da área do projeto: a área de vazamento deve ser próxima da área do projeto. Esta distância varia de projeto para projeto dependendo da localização dos agentes do desmatamento atuantes na área do projeto.
- b) A localização dos agentes do desmatamento atuando diretamente na área do projeto. A área de vazamento deve ser tão próxima da localização dos agentes do desmatamento quanto é da área do projeto.
- c) A mobilidade dos agentes do desmatamento atuando diretamente sob a área do projeto. Toda a área de vazamento do projeto deve ser acessível aos agentes do desmatamento.
- d) A direção que as atividades tendem a seguir. Por exemplo, o padrão pode ser do leste para o oeste e, portanto, a área de vazamento deve ser localizada ao lado ocidental da área do projeto.
- e) Configuração da paisagem, incluindo:
 - (i) Barreiras topográficas ao desmatamento (declives, elevações, etc.);
 - (ii) Barreiras de uso da terra e/ou cobertura do solo ao desmatamento;
 - (iii) Barreiras de acesso ao local;
 - (iv) Áreas com solos de produtividade limitada;
 - (v) Fronteiras de propriedades/posse que contenham o desmatamento (reservas, áreas particulares, áreas do governo).
- f) A área de vazamento deve ser restringida pela mesma configuração da paisagem da área do projeto.

A interpretação desses critérios é subjetiva e cabe ao proponente do projeto definir a área de vazamento que resulte na estimativa mais conservadora do ponto de vista dos benefícios ambientais do projeto.

A descrição do projeto deve conter:

- Mapas com as fronteiras delimitadas da área do projeto e de vazamento;
- Imagens comprovando a existência da cobertura florestal em toda a área de vazamento;
- Os tamanhos das áreas florestadas na área do projeto e na área de vazamento;
- Narrativa justificando o raciocínio para a seleção da área de vazamento.

7.2 Estimativa *ex ante* dos vazamentos no cenário do projeto

A estimativa *ex ante* das emissões relativas ao vazamento, em toneladas de CO₂-e, deve ser baseada em modelos espaciais disponíveis e adequados ao contexto do projeto, sendo recomendado o uso de modelos apresentados nas metodologias aprovadas do VCS para projetos de REDD, levando-se em conta os passos apresentados por esta metodologia.

Os vazamentos resultantes da implementação do projeto de MF-EIR podem ser estimados como:

$$C_V = \sum_{t=1}^{t^*} GEE_{V,t} \quad (10)$$

Onde:

| | |
|-------|--|
| C_V | Emissões associadas ao vazamento do projeto, incluindo o fator de desconto para o vazamento de mercado; t CO ₂ -e |
| t^* | 1, 2, 3, ... t^* anos passados desde o início da atividade do projeto |

8. Remoções antrópicas líquidas *ex ante* de gases de efeito estufa por sumidouros

O cálculo das remoções antrópicas líquidas *ex ante* de gases de efeito estufa por sumidouros baseia-se no balanço atual do estoque de carbono do projeto MF-EIR (C_{MF_EIR}) subtraindo-se os estoques esperados para a área se estivesse sob EC (C_{LB}) e os vazamentos associados à atividade do projeto MF-EIR (C_V), conforme a seguinte equação:

$$C_t = C_{MF_EIR,t} - C_{LB,t} - C_{V,t} \quad (11)$$

Onde:

| | |
|-----------------|---|
| C_t | Remoções antrópicas líquidas <i>ex ante</i> de gases de efeito estufa por sumidouros do projeto de MF-EIR no ano t ; t CO ₂ -e |
| $C_{MF_EIR,t}$ | Remoções líquidas de GEE no cenário do projeto de MF-EIR no ano t ; t CO ₂ e |
| $C_{LB,t}$ | Remoções líquidas de GEE do cenário da linha de base no ano t ; t CO ₂ -e |
| $C_{V,t}$ | Total de emissões de GEE dos vazamentos no ano t ; t CO ₂ -e |

8.1 Cálculo das Unidades de Carbono Verificadas (VCU)

Para estimar as VCUs esperadas para o projeto, esta metodologia utiliza a última versão do guia "Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU) Requirements" do VCS, baseada na estimativa da média do benefício a longo-prazo do estoque de carbono do projeto, porém adaptada à atividade de um projeto IFM, onde:

- O número máximo de créditos de carbono disponível para os projetos não deve exceder a média de longo prazo dos benefícios do carbono. A média de longo prazo dos benefícios do carbono deve ser calculada utilizando-se o seguinte procedimento:
 - (1) O período para o qual a média de longo prazo dos benefícios do carbono deve ser calculada em função dos anos do período de crédito do projeto, sendo o último ano aquele onde o estoque de carbono da floresta sob o cenário do projeto atinja o estoque de carbono inicial da floresta anterior à implementação do projeto;
 - (2) O período de crédito para o qual a média de longo prazo dos benefícios do carbono é calculada deve ser igual ao tamanho do período de crédito do projeto;
 - (3) Determinar o volume total de benefícios do carbono do projeto para cada ano do período de crédito estabelecido. Para cada ano, o benefício do carbono são as reduções de emissões e remoções atuais de GEE do projeto menos as do cenário da linha de base e do vazamento;
 - (4) Somar o total dos benefícios do carbono de cada ano do período estabelecido de crédito;
 - (5) Calcular a média dos benefícios do carbono para o período estabelecido de crédito;
 - (7) Usar a seguinte equação para calcular média de longo prazo dos benefícios do carbono:

$$MBP = \frac{\sum_{t=1}^n (C_{MF_EIR,t} - C_{LB,t} - C_{V,t})}{n} \quad (12)$$

Onde:

| | |
|-----------------|---|
| MBP | Média a longo prazo dos benefícios do projeto; t CO ₂ -e |
| $C_{MF_EIR,t}$ | Remoções antrópicas líquidas <i>ex ante</i> de gases de efeito estufa por sumidouros do projeto no ano t ; t CO ₂ -e |
| $C_{LB,t}$ | Remoções líquidas de GEE no cenário da linha de base no ano t ; t CO ₂ -e |
| $C_{V,t}$ | Emissões <i>ex ante</i> dos vazamentos no cenário do projeto para o ano t ; t CO ₂ -e |
| n | Número total de anos estabelecidos para período estabelecido no passo (1) deste procedimento |

- (8) Um projeto pode reivindicar os créditos de carbono durante cada evento de verificação até o momento em que média de longo prazo dos

benefícios do carbono seja atingida. Uma vez que o número total dos VCUs atinja sua média, o projeto não pode mais emitir VCUs, a menos que a média de longo prazo dos benefícios do carbono aumente;

- (9) O *buffer* créditos é retido somente quando os créditos são emitidos. O número de VCUs do *buffer* será baseado na mudança média de longo prazo no estoque de carbono e deve ser baseado última versão da ferramenta "AFOLU Non-Permanence Risk Tool" do VCS;
- (10) Usar a seguinte equação para calcular o número *ex post* de VCUs emitidos por verificação:

$$N_{VCU,t} = C_{MF_EIR,t} - C_{LB,t} - C_{V,t} \quad (13)$$

desde que:

$$MBP \geq \sum_{t=1}^{t^*} N_{VCU,t} \quad (14)$$

Onde:

| | |
|-----------------|---|
| $N_{VCU,t}$ | Número de VCUs emitidos na verificação no ano t , VCU |
| $C_{MF_EIR,t}$ | Remoções antrópicas líquidas <i>ex ante</i> de gases de efeito estufa por sumidouros do projeto no ano t , t CO ₂ -e |
| $C_{LB,t}$ | Remoções líquidas de GEE no cenário da linha de base no ano t , t CO ₂ -e |
| $C_{V,t}$ | Emissões <i>ex post</i> dos vazamentos do projeto para o ano t , t CO ₂ -e |
| MBP | Média a longo prazo dos benefícios do projeto; t CO ₂ -e |
| t^* | 3, 5, 10, ... t^* ano em que ocorre a atividade de verificação do projeto |

III. METODOLOGIA DE MONITORAMENTO

Todos os dados coletados como parte do monitoramento devem ser arquivados eletronicamente e mantidos durante o período de duração do projeto. Todos os levantamentos de dados devem ser conduzidos segundo os padrões relevantes.

1. Monitoramento da implementação do projeto

Informações devem ser fornecidas, e apresentadas no documento de concepção de projeto, a fim de assegurar que princípios de inventário florestal e manejos comumente aceitos no país anfitrião sejam implementados. Na ausência destes, procedimentos operacionais padrão (SOP, sigla em inglês) e de procedimentos de controle de qualidade/garantia de qualidade (QA/QC, sigla em inglês) para as operações de inventário, incluindo coleta de dados no campo e tratamento dos

dados, devem ser identificados, registrados e aplicados. Recomenda-se a utilização dos procedimentos SOP disponíveis em manuais ou no GPG LULUCF (IPCC, 2003).

2. Design de amostragem e estratificação

A estratificação da área do projeto em unidades relativamente homogêneas pode aumentar a precisão das medições sem aumentar os custos da atividade, ou reduzir custos sem reduzir a precisão das medições devido à menor variância dentro das parcelas homogêneas. Os proponentes do projeto devem apresentar no documento de concepção do projeto uma estratificação *ex ante* da área do projeto ou justificar sua ausência. O número e os limites de cada extrato definidos *ex ante* podem ser alterados durante o período de crédito.

2.1 Alteração nos extratos

A estratificação *ex post* deve ser atualizada devido as seguintes razões:

- Perturbações inesperadas ocorrendo durante o período de crédito (por exemplo, devido a incêndios, pestes ou doenças), afetando diretamente diversas partes do extrato homogêneo original;
- Atividades de manejo florestal (abertura de estradas, colheita, replantio), que são implementadas de modo a afetar a estratificação existente.

Extratos estabelecidos podem ser unidos se as razões para suas distinções desaparecerem ao longo do período de crédito.

2.2 Requisitos da precisão

A máxima margem relativa do erro da média permitida para a estimativa da biomassa das árvores é $\pm 10\%$ com intervalo de confiança de 90% ou de acordo com a última versão das regras do VCS.

2.3 Requisito dos dados utilizados pela metodologia

A tabela a seguir fornece uma lista dos dados e parâmetros necessários à utilização dessa metodologia. Os proponentes do projeto devem se referir às ferramentas empregadas por esta metodologia, para fornecerem uma descrição completa dos dados e parâmetros utilizados. Para o cálculo *ex ante* da média a longo prazo dos benefícios do carbono, os proponentes do projeto devem fornecer estimativas transparentes dos parâmetros que são monitorados durante o período de crédito. Estas estimativas devem ser baseadas em dados reais publicados quando possível, utilizando uma abordagem conservadora.

Tabela 4 - Dados e parâmetros requeridos pela metodologia

| Dado/Parâmetro | Descrição | Unidade |
|--|---|---------------------------------|
| A. Dados e parâmetros a serem obtidos de fontes existentes | | |
| $A_{EC,t}$ | Área do projeto explorada no cenário da linha de base no ano t | ha |
| $BAAS_{EC,t}$ | Biomassa arbórea seca acima do solo pós-atividade exploratória no ano t | t m.s. ha ⁻¹ |
| $f(DAP_a, DB_s)$ | Função alométrica que estima a biomassa arbórea seca acima do solo em função do DAP da árvore a e da densidade básica da espécie | t m.s. m ³ |
| $f(BAAS_a)$ | Função alométrica que estima a biomassa arbórea seca abaixo do solo em função da biomassa arbórea seca acima do solo da árvore a | t m.s. m ³ |
| FC | Fração carbono | sem dimensão |
| DB_s | Densidade básica da espécie s | t m.s. m ³ |
| FEB_s | Fator de expansão da biomassa da biomassa do fuste para a biomassa acima do solo para a espécie s . | sem dimensão |
| R | Relação biomassa raiz:biomassa acima do solo para a formação florestal | sem dimensão |
| R_s | Relação biomassa raiz:biomassa acima do solo para a espécie s | sem dimensão |
| BS_{i_0} | Biomassa seca acima do solo antes do início da atividade do projeto | t m.s. ha ⁻¹ |
| $R_{BS_{i_0}}$ | Relação raiz:biomassa acima do solo para a biomassa seca desmatada acima do solo | sem dimensão |
| B. Dados e parâmetros a serem obtidos das medições em campo | | |
| $A_{projeto,j,t=0}$ | Área de cada estrato j onde a atividade MF-EIR será implantada no ano zero | ha |
| $A_{EIR,t}$ | Área do projeto manejada no ano t | ha |
| AD_t | Área desmatada no ano t para a abertura de estradas e pátios | ha |
| $BAAS_{i_t}$ | Biomassa arbórea seca acima do solo sem a atividade exploratória no ano t ; t m.s. ha ⁻¹ | t m.s. ha ⁻¹ |
| V_{s,t_c} | Volume comercial da espécie manejada s , na última colheita realizada no ano t_c | m ³ ha ⁻¹ |
| ΔRF_{t-t_c} | Varição no estoque de carbono da biomassa arbórea acima do solo referente a regeneração florestal entre o ano t e o último ano em que ocorreu a atividade de colheita | t m.s. m ³ |
| $GEE_{E,t}$ | Emissões do projeto no ano t | t CO ₂ -e |
| $V_{s,t}$ | Volume comercial da espécie manejada s , no ano t | t m.s. ha ⁻¹ |
| $GEE_{V,t}$ | Emissões associadas ao vazamento do projeto | t CO ₂ -e |

ANEXO C

Lista dos especialistas em projetos IFM do VCS contatados

| Nome | Organização | Contato |
|-----------------|---------------------------|-------------------------------|
| Carolyn Ching | <i>VCS Association</i> | cching@v-c-s.org |
| Juan Chang | TÜV SÜD | juan.chang@tuev-sued.de |
| Jeff Hayward | Rainforest Alliance | jhayward@ra.org |
| Robert Hrubes | SCS | rhrubes@scscertified.com |
| Christian Kobel | SGS | christian.kobel@sgs.com |
| Anil PC | Bureau Veritas | pcanil@gmail.com |
| Steve Ruddell | Independente | steve@carbonverde.com |
| Scott Sager | Environmen. Services, Inc | ssager@esinc.cc |
| Martin Schroder | Independente | forest-schroeder@web.de |
| Gordon Smith | Independente | gsmith@ecofor.org |
| Eveline Trines | Independente | eveline.trines@silvestrum.com |