

# **Sobre a Sustentabilidade de Projetos de Seqüestro de Carbono na Amazônia Brasileira**

Gabriela Tunes Da Silva e Antônio C. P. Brasil Junior

Centro de Desenvolvimento Sustentável

Universidade de Brasília

## **1. Introdução**

A implementação dos Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) através de projetos de manejo florestal, em países em desenvolvimento, é uma das estratégias possíveis para compensação de emissão de carbono na atmosfera. No momento atual, importantes discussões sobre políticas de implementação dos MDL's, envolvendo atores internacionais e nacionais ligados a Organizações Não-Governamentais, governos, indústrias, etc. pautam metas para a forma de implantação de projetos. Esta estratégia de compensação, contida no Protocolo de Kyoto, permite a implementação de projetos cooperativos sustentáveis envolvendo parcerias entre instituições de países desenvolvidos e em desenvolvimento. Um pequeno número de iniciativas pilotos de projetos florestais encontra-se em fase de planejamento, e algumas começam a ser implementadas.

Na Amazônia brasileira, grandes áreas de propriedades já desmatadas poderiam ser utilizadas para projetos de seqüestro de carbono. O montante das áreas degradadas que poderiam se tornar alvos de projetos, com acesso facilitado pela proximidade de rodovias é significativo. Neste momento, algumas empresas multinacionais e organizações não-governamentais verificam a viabilidade de projetos de manejo florestal em países em desenvolvimento, e em particular na floresta amazônica. Sob o ponto de vista econômico, esta estratégia é bastante interessante. A possibilidade de implementar projetos de compensação de emissão de carbono, com baixo custo inicial e operacional é um excelente atrativo para companhias e países com boa experiência no manejo de florestas tropicais. Um segundo interesse repousa no caráter emblemático (e de estratégia de mercado) de salvar a floresta tropical.

Os benefícios econômicos e ambientais de projetos de manejo florestal em áreas degradadas na Amazônia mostram-se particularmente adequados para estratégias de compensação de indústrias com emissões atmosféricas consideráveis (siderúrgicas, indústrias do setor automobilístico, produção de energia com base no carvão, etc.). Isto converge com a agenda nacional e local de conservação de países em desenvolvimento, e pode representar um excelente instrumento para proporcionar sustentabilidade em regiões florestais, recuperando áreas degradadas e eventualmente redirecionando a pressão sobre o desmatamento. Este é o mundo ideal.

Torna-se, porém, necessário frizar que não existem garantias de sustentabilidade em tais iniciativas. Sob o aspecto econômico, a sustentabilidade pode ser fortemente dependente dos valores de mercado dos títulos de carbono emitidos pelo projeto e da real taxa de captura na sucessão secundária. A sustentabilidade ambiental de tais projetos estará associada às técnicas de manejo da recuperação do ecossistema. Por fim, a sustentabilidade social somente poderá ser garantida se o projeto transferir benefícios para as comunidades locais. Na Amazônia, os projetos de desenvolvimento implementados nas últimas décadas (no senso tradicional), tenderam a formar enclaves econômicos locais.

Este artigo visa discutir a sustentabilidade de projetos de seqüestro de carbono através do manejo florestal com ênfase no reflorestamento em áreas degradadas na Amazônia. São discutidas questões importantes, que proporcionariam a garantia das sustentabilidades econômica e ambiental, assim como o estabelecimento de parâmetros para a difusão de benefícios sociais para comunidades locais. Indicadores de sustentabilidade são propostos para avaliação deste tipo de projeto.

## **2. Mecanismo de Desenvolvimento Limpo e Projetos de Reflorestamento**

O artigo 12 do Protocolo de Kyoto define o que foi denominado Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, segundo o qual os países do Anexo I podem utilizar projetos de reduções de emissões implementados em países em desenvolvimento na contabilização de suas próprias emissões. Todavia, para que os países do sul não se transformem em grandes drenos de carbono dominados pelo Norte, o Protocolo afirma que *“o objetivo do mecanismo de desenvolvimento limpo deve ser assistir às Partes não incluídas no Anexo I para que atinjam o desenvolvimento*

*sustentável e contribuam para o objetivo final da Convenção, de assistir às Partes incluídas no Anexo I para que cumpram seus compromissos quantificados de limitação e redução de emissões”.*

O MDL tem, então, dois objetivos distintos: diminuir o custo das reduções de emissões de gases estufa e promover o desenvolvimento sustentável dos países em desenvolvimento. Esses dois objetivos refletem a necessidade de ação coordenada entre países desenvolvidos e em desenvolvimento, para que se alcance a meta comum da mitigação do efeito estufa, partindo do princípio das responsabilidades comuns mas diferenciadas entre países. O MDL permite que países ricos recebam créditos de reduções de emissões por investirem em projetos de redução de emissões de baixo custo. Esses créditos podem, então, ser utilizados na contabilização das reduções do país investidor, o que reduziria o custo das metas de reduções fixadas no Protocolo de Kyoto. Além de beneficiar os países do Anexo-I, o MDL também pode beneficiar os países em desenvolvimento. Primeiro pelo influxo de recursos, e segundo, porque o MDL une a meta das reduções de emissões ao desenvolvimento, encorajando os países pobres a investirem em reduções de emissões mesmo tendo outras prioridades mais urgentes (Motta *et al.*, 2000).

Diversos estudos demonstram que florestas tropicais absorvem quantidades significativas de CO<sub>2</sub> (Grace *et al.*, 1996), e podem ter influência substancial no balanço de carbono global. Por exemplo, um hectare de floresta Amazônica nativa assimila 1 tonelada de carbono por ano. Todavia, a simples conservação da floresta nativa em projetos de seqüestro de carbono é objeto de controvérsias, pois não fornece alternativas de desenvolvimento econômico às comunidades locais, de forma que não garante o desenvolvimento sustentável. Se houver predomínio dessa visão carbonocêntrica, um dos objetivos do MDL não será alcançado. Além disso, se as necessidades das comunidades locais não forem assistidas, não cessarão as pressões sobre a terra, e práticas de extração ilegal de madeira e desmatamento estarão sendo encorajadas. Por isso, os projetos do MDL devem prever a participação das comunidades, para que a meta do desenvolvimento sustentável seja atingida, e o objetivo principal do MDL, de mitigar o efeito estufa, não seja comprometido. Atividades associadas ao reflorestamento, à recuperação de áreas degradadas e ao manejo sustentável de florestas nativas são economicamente viáveis, ainda mais se associadas aos créditos do MDL (Motta *et al.*, 2000).

### **3. Áreas Desmatadas na Amazônia e Potencial de Projetos de Sequestro de Carbono**

#### **3.1. Padrão de uso da terra na Amazônia**

Embora o bioma Amazônico seja potencialmente um poderoso dreno de carbono, o atual padrão de uso da terra promove a emissão de uma grande quantidade de carbono para a atmosfera, e pode transformar a floresta em uma fonte de carbono para a atmosfera. Quando uma floresta é cortada ou queimada, um pulso de CO<sub>2</sub> é emitido para a atmosfera. Araújo *et al.* (1999) realizaram um experimento em que uma área de floresta primária foi cortada e deixada para secar por quatro meses, quando se realizou a queimada. Este procedimento é semelhante ao utilizado pelos proprietários de terras na Amazônia. O fogo provocou a emissão de cerca de 19,1 t C ha<sup>-1</sup>. Além da grande emissão de carbono que ocorre no momento do fogo, a alteração da paisagem também modifica o balanço de carbono da região: a decomposição de raízes e de restos da floresta que não foram consumidos pelo fogo provoca um aumento na emissão de CO<sub>2</sub> (Nepstad *et al.*, 1999).

A análise histórica do uso da terra na região Amazônica demonstra que o desmatamento, uso e abandono da terra são práticas disseminadas na região. Schneider *et al.* (2000), com base nos dados das principais atividades econômicas da região (exploração madeireira e pecuária) e na literatura, identificaram um ciclo de “boom-colapso” econômico associado à expansão da fronteira agrícola Amazônica. Esse ciclo pode ser descrito da seguinte forma: primeiramente, madeireiros migrantes chegam a regiões inexploradas em busca de novas fontes de madeira. A atividade econômica da região cresce rapidamente nos primeiros oito anos à medida que as árvores são extraídas e os pastos estabelecidos. No oitavo ano, a renda bruta de um município de 1 milhão de hectares pode atingir US\$ 100 milhões. Porém, a economia começa a declinar quando as árvores de alto valor são exauridas e um segundo ciclo de extração de árvores de médio e baixo valor é iniciado. No vigésimo ano, ocorre exaustão total de madeiras de valor comercial e a economia local entra em crise. No vigésimo terceiro ano, a renda bruta da região cai para US\$ 5 milhões. Nesse período, os madeireiros já abandonaram a área e deixaram para trás somente uma pecuária de baixa produtividade.

Os impactos sociais dessa dinâmica de uso da terra são dramáticos: enquanto ainda existe exploração madeireira, 4500 empregos são mantidos; no vigésimo terceiro ano sobram cerca de 500 empregos associados à pecuária (Schneider *et al.*, 2000). A exploração madeireira está, então, intimamente relacionada à atividade pecuária, e ambas praticamente promovem o avanço da fronteira agrícola amazônica.

Em contraposição, a prática de manejo florestal é menos lucrativa nos primeiros 20 anos (a renda bruta chega a US\$ 70 milhões), mas permanece estável tanto em termos de renda bruta quanto em termos de empregabilidade, resultando em sustentabilidade sócio-econômica para a comunidade. Esse modelo sustentável não predomina na Amazônia porque, a curto prazo, não oferece vantagens competitivas em relação ao modelo predatório, tornando-o economicamente inviável (Schneider *et al.*, 2000).

O abandono de áreas desmatadas na amazônia segue um histórico padronizado, que é consequência do modelo de ocupação do solo implementado por políticas nacionais a partir de meados do século XX. Incentivados por políticas nacionais de colonização e pela facilidade de crédito regional, fazendeiros inicialmente desmatam grande parte de sua fazenda. A madeira de valor comercial é vendida para complementar o capital para a formação de pasto e implantação de projetos de pecuária (ou em pequeno número de projetos agrícolas). Em diversas regiões, o equilíbrio econômico do projeto é instável. O empreendimento é mantido principalmente por uma estratégia de incentivo econômico local, estabelecido por agências locais de financiamento. Em parte dos projetos, devido a dificuldades econômico-financeiras, uma tendência à desmobilização do capital é estabelecida. A falência do projeto é eminente, e o mesmo é abandonado. Estima-se que cerca da metade dos projetos agropecuários foram desativados gerando áreas de pastagens abandonadas. O processo de sucessão secundária de estabelece de maneira natural na maioria dos casos (Uhl *et al.*, 1988).

### **3.2. A dinâmica de sucessão secundária em pastagens abandonadas e potencial para uso em projetos de seqüestro de carbono**

A literatura é vasta em trabalhos acerca do processo de sucessão em floretas tropicais. A dinâmica de tal processo é diferente para duas situações distintas: quando a regeneração acontece em função de desastres naturais (como queda de árvores, vendavais ou fogo) ou quando acontece em pastagens abandonadas. Aide *et al.* (1995) sugerem que a regeneração é

muito mais lenta no segundo caso, pois há uma inibição para o estabelecimento das árvores, gerada por fatores como altos níveis de predação de sementes e indivíduos juvenis, degradação dos solos e competição com outras espécies (notadamente as gramíneas invasoras freqüentemente utilizadas nas pastagens). Embora existam diferenças entre essas duas situações, em ambos os casos a sucessão gera taxas de assimilação de carbono altas quando comparadas àquelas observadas para florestas primárias: uma floresta secundária com 10 anos de idade assimila de 6,0 a 10,0 t C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>; com 20 anos de idade, a assimilação da floresta secundária varia de 4,0 a 7,0 t C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>; com 80 anos, a assimilação anual média cai para 2,0 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Acredita-se que, com 100 anos, a floresta atinja o estado de equilíbrio, com taxa de assimilação de 0,97 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Fearnside e Guimarães, 1996). Silver *et al.* (2000) afirmam que o crescimento de florestas secundárias pode ter um papel significativo no balanço de carbono global, e a recuperação de áreas florestais alteradas pode ser um mecanismo potencial de mitigação do efeito estufa.

De acordo com Fearnside e Barbosa (1998), a pecuária extensiva é o maior responsável pelos desmatamentos na região amazônica, pois cerca de 75% da área total desflorestada está associada com a pecuária (30% da área total desflorestada correspondem a pastagens abandonadas; Tabela 1). As altas taxas de assimilação de carbono observadas ao longo da sucessão ecológica, aliadas à enorme área ocupada por pastagens abandonadas na Amazônia tornam as atividades relacionadas à recuperação de áreas degradadas por pastagens especialmente atrativas para projetos de seqüestro de carbono de baixo custo.

Segundo Fearnside e Guimarães (1996), as florestas secundárias derivadas de pastagens responderam por mais de 80% do total de carbono sequestrado por atividades relativas ao uso da terra no ano de 1990. Isso acontece não somente porque a recuperação de pastagens tem uma alta taxa de seqüestro de carbono, mas porque a área total que tais florestas secundárias ocupam é relativamente grande. Além disso, cerca de 45% do total da área desflorestada na Amazônia está ocupada por pastagens produtivas; daí pode-se especular que grandes porções dessa área serão abandonadas em um futuro próximo (se já não foram, visto que esses dados são de 1990), transformando-se em potenciais drenos de carbono por meio do crescimento sucessional. Sendo assim, projetos que buscam desenhar estratégias de mitigação do efeito estufa por meio da recuperação de áreas degradadas devem centrar-se em tais áreas, devido à sua maior relevância, tendo em vista o predomínio da atividade pecuária na região.

**Tabela 1.** Assimilação de carbono para diferentes tipos de vegetação na Amazônia brasileira em 1990 (dados extraídos de Fearnside e Guimarães, 1996, p. 43)

Tipo de Vegetação	Área total ( $10^3$ ha)	Porcentagem da área desmatada	Assimilação média de carbono ( $t\ C\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ )	Assimilação total de carbono ( $10^6$ t)
Agricultura	2221	5	0	0
Pastagem produtiva	18400	45	0	0
Pastagem degradada	904	2,2	0,4	0
Floresta secundária derivada de agricultura	854	2	4	4
Floresta secundária derivada de pastagem	11536	28	2	24
Floresta secundária originada antes de 1970	7127	17	0	1
Total	41042	100	0,7	29

Em termos operacionais, a conversão de pastagens em floresta secundária não é trivial. Embora o processo de sucessão aconteça naturalmente, requer prazos que podem inviabilizar economicamente os projetos de sequestro de carbono. Então, em muitos casos, intervenções iniciais são necessárias no sentido de acelerar ou até mesmo de possibilitar o processo de sucessão. Além disso, a presença de gramíneas invasoras utilizadas nos pastos (*Brachiaria* spp. e *Panicum maximum*) dificulta o crescimento das espécies pioneiras, e a dinâmica do processo de sucessão varia significativamente conforme a intensidade de uso da pastagem. Uhl *et al.* (1988) definiram três classes de intensidade de uso de pastagens:

- **Uso leve:** após o corte e queima da vegetação nativa, a área é semeada mas o pasto não se estabelece de forma satisfatória por diversos fatores. Então, a área apresenta baixa cobertura por grama e baixa produtividade (menos de 1 cabeça de gado/ha). Em média, tais áreas são utilizadas por 4 anos, sendo, então, abandonadas. Nesses casos, a recuperação florestal é rápida: com oito anos de abandono, as áreas apresentam dossel fechado a 13 m de altura e 25% da biomassa aérea da floresta primária. A assimilação aérea de biomassa é  $10\ t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ , e a riqueza de espécies também é alta.
- **Uso moderado:** após o corte e queima da vegetação nativa, a área é semeada e o pasto se estabelece bem. A área é re-queimada em média uma vez a cada três anos. Apesar do estabelecimento satisfatório da pastagem, a produtividade é baixa (1 cabeça de gado/ha) e não há uso de máquinas. Essas áreas permanecem ativas por 6 a 12 anos, e são abandonadas. Embora o processo de sucessão se estabeleça, a regeneração da floresta e o surgimento de características florestais são mais lentos. Após oito anos de

abandono, o dossel ainda não se fecha (embora a densidade de árvores seja relativamente alta), e sua altura média é de 7 a 8 m. A riqueza de espécies é menor do que para categoria anterior. A assimilação aérea de biomassa é de  $5 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , e esse dado indica que florestas secundárias derivadas de pastagens com uso leve assimilam o dobro de biomassa em relação às derivadas de pastagens de uso moderado. Como o crescimento da parte aérea é um dos fatores fundamentais nos fluxos líquidos de carbono, podemos supor que o crescimento secundário em pastagens de uso leve resulta em maior seqüestro de carbono em menores períodos de tempo.

- **Uso pesado:** há o estabelecimento satisfatório da pastagem, e uso intensivo de máquinas. A frequência de queimadas é maior, e as áreas submetidas a esse tipo de manejo permanecem ativas por 6 a 12 anos, sendo então abandonadas. Após oito anos de abandono, raros indivíduos lenhosos são encontrados, e as gramíneas ainda são a vegetação dominante.

Não existem, na literatura, estimativas acerca do total em área representado por cada intensidade de uso, mas Uhl *et al.* (1988) sugerem que o uso moderado é o mais comum na amazônia brasileira. Evidentemente, áreas submetidas ao uso leve são mais indicadas para projetos de seqüestro de carbono, simplesmente porque são mais eficientes em assimilar carbono. Todavia, é possível que tais áreas representem uma minoria na amazônia brasileira. Como enfoque realista, sugerimos que tais projetos dirijam-se às pastagens abandonadas de uso moderado, que são mais abundantes e não se encontram em estágios de degradação avançados.

Além da intensidade de uso da pastagem, vários outros fatores podem interferir na dinâmica de sucessão. A análise cuidadosa desses fatores é necessária antes de se iniciar um projeto de seqüestro de carbono, pois eles podem comprometer a sustentabilidade e a viabilidade do projeto. Zimmerman *et al.* (2000) sugerem que não somente a competição com as gramíneas dificulta o estabelecimento de espécies lenhosas, mas também questões relacionadas à disponibilidade de sementes no banco e estratégias de dispersão. Devido à falta de frutos, sementes e ambientes adequados, as pastagens oferecem poucos recursos para animais frugívoros, os principais agentes dispersores de sementes. Sendo assim, a colonização de áreas de pastagens por sementes acontece somente para espécies com sementes dispersas pelo vento. Então, existe uma forte correlação entre a distância da floresta nativa e o



crescimento da floresta secundária, e áreas adjacentes à floresta nativa têm maior potencial de estabelecimento da floresta secundária. Os autores sugerem ainda que semear artificialmente as áreas de pastagem pode acelerar o processo de sucessão.

Os projetos de seqüestro de carbono poderão ter ganhos significativos em termos de assimilação de CO<sub>2</sub> se estiverem próximos às bordas das florestas. Então, áreas centrais na Amazônia são privilegiadas em relação às áreas do arco do desmatamento, que encontram-se distantes da floresta nativa. Áreas próximas a estradas (notadamente a Transamazônica), as quais são freqüentemente utilizadas para atividades pecuárias têm grande potencial para esse tipo de projeto.

Economicamente, a implementação de tais projetos depende fortemente de capitais iniciais relativamente altos, com razoável prazo de maturação (10-30 anos). Os seguintes aspectos reforçam a característica potencial de algumas regiões da Amazônia para este tipo de projeto: proximidade de estradas e comunidades locais; tipo de solo, que garanta uma taxa de crescimento florestal; nível de degradação da área e dificuldades para o estabelecimento do processo de sucessão e estágio sucessional em que se encontra a área. Na Amazônia brasileira, milhares de hectares preservam essas características favoráveis.

#### **4. Avaliação da Sustentabilidade de Projetos de Seqüestro de Carbono**

A sustentabilidade de projetos de sequestro de carbono deve ser avaliada em suas três principais dimensões: econômica, ambiental e social. Basicamente, a sustentabilidade de um projeto será garantida se ele proporcionar um equilíbrio de contas estável, com benefícios ambientais estabelecidos e com garantia de equidade em múltiplas escalas. Sob o ponto de vista econômico, o projeto deve garantir uma taxa de retorno que está associada diretamente a dois fatores principais: a taxa de assimilação de carbono e os valores de mercado dos títulos emitidos. Estes são pontos muito controversos de serem assegurados, que dependem de um prévio conhecimento da dinâmica de sucessão para estabelecimento de um cenário realístico de assimilação. Os valores de mercado dos títulos dependerão fortemente do estabelecimento de garantias reais de carbono assimilado – o que não é tecnicamente evidente de ser determinado. Mensurar taxas de carbono capturado, em grandes áreas plantadas, é uma questão atual no manejo de florestas tropicais. A incerteza de mensuração das taxas está associada ao custo de mensurá-las e às metodologias utilizadas. Neste mesmo sentido, parâmetros de risco sobre o

empreendimento também serão aspectos que devem ser observados. Riscos de perdas de carbono por incêndio, ou de redução da taxa de assimilação por condições climáticas adversas ou manejo do ecossistema inadequado são parâmetros importantes que podem pressionar a sustentabilidade econômica de projetos. A avaliação preliminar da sustentabilidade econômica de projetos de sequestro de carbono deve ser baseada na utilização de metodologias de simulação de crescimento de floresta, com modelos realísticos previamente testados. Cenários diversos de comportamento de mercado também devem ser elaborados, dentro de óticas metodológicas de previsão da economia moderna. Uma forma alternativa de assegurar a sustentabilidade econômica de projetos, sem que o mesmo seja fortemente dependente de oscilações de mercado, é propor entradas alternativas através de atividades lucrativas oriundas de outros usos da área florestal. Parte da propriedade pode ser utilizada, por exemplo, para exploração madeireira sustentável, ou mesmo, pelo aproveitamento de produtos florestais não-madeiráveis.

No que concerne a sustentabilidade ambiental, esta é praticamente garantida, visto que o objeto principal dos projetos de sequestro de carbono agrega valores ambientais positivos em escalas planetárias via redução de gases estufa. Nota-se, porém, que eventualmente projetos que estabeleçam metas de captura pouco realistas podem induzir a utilização de práticas pouco sustentáveis de manejo (fertilização, manejo inadequado do ecossistema, uso inadequado de espécies que não representem a diversidade local, etc.). Estes são pontos que devem ser considerados.

Enfim, sob o aspecto social, é necessário que os projetos revertam benefícios para as comunidades locais através da geração de emprego e da disponibilização de benefícios sociais indiretos (educação e saúde, por exemplo). Torna-se estritamente necessário que um projeto não se torne um enclave econômico local. Neste sentido, a equidade pode ser garantida.

Como forma de estabelecer indicadores de sustentabilidade que permitam a avaliação e acompanhamento de projetos de sequestro de carbono, as bases da sustentabilidade apresentadas anteriormente devem ser perseguidas. Vários indicadores podem ser propostos, compondo metodologias de ecoeficiência do empreendimento com indicadores sociais. Tais indicadores podem ser relativizados pelo valor de carbono assimilado anualmente. Metodologias de ponderação podem ser propostas para avaliação numérica da sustentabilidade.

Considera-se, portanto, que o projeto a ser implementado é um empreendimento que deve apresentar características de eficiência associadas tanto com o processo de captura de carbono quanto à garantia de sustentabilidade nas dimensões econômica, social e ambiental. A escolha dos indicadores deve refletir tais premissas. Toma-se como base de tempo o período de um ano, para avaliação dos processos de fixação de carbono e conseqüente melhoria da sustentabilidade local proporcionados pelo empreendimento.

A Tabela 2 apresenta o conjunto de indicadores sociais propostos no presente artigo. Estes indicadores refletem uma ação direta do empreendimento em educação, saúde e renda através de projetos comunitários. Os indicadores são estabelecidos com base nos montantes de investimento do projeto em iniciativas sociais, considerando um fator de eficácia qualitativo (IS4) que está associado aos resultados obtidos. A aplicação de tais indicadores deve refletir um apoio efetivo aos processos de melhoria de educação e saúde de comunidades locais. Metas específicas podem ser estabelecidas com o poder público local e com a comunidade visando melhoria em qualidade de vida (educação fundamental, treinamento de jovens, sistemas de alfabetização, prevenção e tratamento de doenças tropicais, etc.). O indicador IS3 associa o número de postos de trabalho criados e mantidos pelo empreendimento. Este indicador pode ser monetarizado a partir de um custo padrão de criação de empregos, tendo como base parâmetros regionais.

A Tabela 3 apresenta os indicadores econômicos relevantes propostos pelo presente trabalho. Consideram-se indicadores associados ao investimento e ao custo operacional do projeto, ambos normalizados pelo carbono fixado em um ano. O indicador IE3 quantifica os benefícios aferidos pelo projeto ao aumento do PIB local.

A Tabela 4 apresenta os indicadores ambientais utilizados. Os indicadores IA4 e IA3 estão associados à eficiência de captura e à diversidade de espécies nativas usadas no projeto de reflorestamento. Os indicadores IA1 e IA2 apresentam impactos secundários associados ao uso de agroquímicos e energia.

**Tabela 2.** Indicadores Sociais

	<i>Nome</i>	<i>Definição</i>	<i>Unidade</i>
<b>IS1</b>	Indicador de apoio a processos educativos	Investimento do projeto em educação na comunidade	R\$/tonC
<b>IS2</b>	Indicador de apoio a saúde local	Investimento do projeto em saúde comunitária	R\$/tonC

<b>IS3</b>	Indicador de emprego	Empregos locais gerado pelo projeto	Número de postos/tonC
<b>IS4</b>	Indicador de eficácia em projetos sociais	Indicador de eficácia sobre os investimentos em saúde e educação na comunidade.	
<b>IS5</b>	Indicador demográfico	Taxa de migração	% variação populacional

**Tabela 3.** Indicadores Econômicos

	<i>Nome</i>	<i>Definição</i>	<i>Unidade</i>
<b>IE1</b>	Investimento Direto	Investimento total do projeto	R\$/tonC
<b>IE2</b>	Custo operacional	Valores relativos ao custo de manejo e manutenção	R\$/tonC
<b>IE3</b>	Indicador de PIB da comunidade	Variação do PIB local	R\$/tonC
<b>IE4</b>	Mercado do Carbono	Valor de mercado da tonelada de carbono fixado	R\$/tonC

**Tabela 4.** Indicadores Ambientais

	<i>Nome</i>	<i>Definição</i>	<i>Unidade</i>
<b>IA1</b>	Uso de agroquímicos	Peso de produtos agroquímicos utilizados	Kg/tonC
<b>IA2</b>	Uso de energia	Energia utilizada (elétrica, motores, etc.)	KWh/tonC
<b>IA3</b>	Biodiversidade	Número de espécies nativas utilizadas	Número de espécies/tonC
<b>IA4</b>	Eficiência de captura	Valor de carbono assimilado por unidade de área	TonC/há

Uma convenção de normalização de indicadores pode ser utilizada, reduzindo-se a faixa de variação dos mesmos para valores entre 0 e 1. Considera-se 0 o valor mais desfavorável quanto à sustentabilidade. O procedimento de normalização será estabelecido a partir de uma faixa de variação entre valores máximos e mínimos definidos a priori. Considerando um indicador qualquer  $I$ , a normalização é dada por:

$$I_n = \left( \frac{I - I_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}} \right)$$

em que  $I_n$  é o indicador normalizado (entre 0 e 1),  $I_{\min}$  e  $I_{\max}$  são os valores máximos e mínimos do indicador  $I$ .

Para o componente social, um indicador agregado será obtido dos indicadores da Tabela 2, normalizados ( $IS_n$ ):

$$IS = \left( \frac{\sum I_{sn}(i) \cdot W_s(i)}{\sum W_s(i)} \right)$$

em que  $W_s(i)$  é o peso que quantifica a importância do indicador no índice final. Sugerimos aqui somente os seguintes valores: 0-Irrelevante, 1-Pouco relevante, 2-Relevância média, 3-Relevância alta.

O mesmo enfoque pode ser dado às outras categorias de indicadores, e da mesma maneira pode-se compor índices agregados para os indicadores ambientais e econômicos.

Os indicadores propostos constituem uma proposta inicial para avaliação de projetos de seqüestro de carbono, com ênfase na melhoria de indicadores sócio-econômicos e ambientais locais. Evidentemente projetos a serem implantados podem não oferecer, de forma direta, investimentos sociais locais, interferindo somente no aumento da renda local. O teste de tais indicadores, assim como a avaliação de ponderações para agregações de indicadores básicos (IE, IA e IS), devem ser definidos a partir de uma estratégia de implantação e retorno do projeto. Isto é um modelo geral para uma base de discussão, ao qual podem ser agregados novos indicadores, que refletem particularidades locais.

Por fim, toda a análise de sustentabilidade proposta pelos indicadores das tabelas 2 a 4, pode ser desenvolvida sobre uma base econômica monetária, reduzindo todos os valores das tabelas em valores de moeda corrente. Isto não é a tônica deste artigo, pois é um trabalho que envolve metodologias complexas de valoração de variáveis ambientais e sociais.

É importante frisar que a avaliação de várias dimensões de sustentabilidade (notadamente ambiental, econômica e social) deve estar condicionada à implementação dos projetos de carbono, porque se for utilizado como critério de avaliação dos projetos somente sua capacidade de seqüestrar carbono, corre-se o risco de incentivar atividades degradadoras do meio ambiente e/ou geradoras de sérios problemas sociais.

## 5. Referências

- Aide, T.M.; Zimmerman, J.K.; Herrera, L.; Rosario, M. & Serrano, M. 1995. Forest Recovery in abandoned tropical pastures in Puerto Rico. *Forest Ecology and Management*, 77: 77-86.
- Araújo, T.M.; Carvalho Jr., J.A.; Higuchi, N.; Brasil Jr., A.C.P. & Mesquita, A.L.A. 1999. A tropical rain forest clearing experiment by biomass burning in the state of Pará, Brazil. *Atmospheric Environment*, 33: 1991-1998.
- Fearnside, P.M. & Barbosa, R.I. 1998. Soil carbon changes from conversion of forest to pasture in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 108: 147-166.
- Fearnside, P.M. e Guimarães, W.M. 1996. Carbon uptake by secondary forests in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 80: 35-46.
- Gifford, R.M. 1994. The global carbon cycle: a viewpoint on the missing sink. *Australian Journal of Plant Physiology*, 21: 1-15.
- Grace, J.; Malhi, Y.; Lloyd, J.; McIntyre, J.; Miranda, A.C.; Meir, P. & Miranda, H.S. 1996. The use of eddy covariance to infer the net carbon dioxide uptake of Brazilian rain forest. 1996. *Global Change Biology*, 2: 209-217
- Motta, R. S.; Ferraz C.; Young, C.E.F.; Austin, D. & Faeth, P. 2000. O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo e o Financiamento do Desenvolvimento Sustentável no Brasil. IPEA, Rio de Janeiro, RJ, 46 p. [www.ipea.gov.br](http://www.ipea.gov.br)
- Nepstad, D.C.; Moreira, A.G. & Alencar, A. 1999. *Flames in the Rain Forest: Origins, Impacts and Alternatives to Amazonian Fires*. The Pilot Program to Conserve the Brazilian Rain Forest, Brasilia, Brazil.
- PROTOCOLO DE KYOTO À CONVENÇÃO QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MUDANÇA DO CLIMA. 1998. Edição e tradução dos Ministérios da Ciência e Tecnologia e das Relações Exteriores da República Federativa do Brasil. 28pp.
- Schneider, R.R.; Arima, E.; Veríssimo, A.; Barreto, P. & Souza Júnior, C. 2000. Amazônia sustentável: limitantes e oportunidades para o desenvolvimento rural. Tradução Tatiana Corrêa. Brasília: Banco Mundial; Belém: Imazon, 57 p.

- Silver, W.R.; Ostertag, R. & Lugo, A. E. 2000. The Potential for Carbon Sequestration through Reforestation of Abandoned Tropical Agricultural and Pasture Lands. *Restoration Ecology*, Vol. 8 N° 4, pp. 394–407.
- Uhl, C.; Buschbacher, R. & Serrão, E.A. 1988. Abandoned Pastures in Eastern Amazonia. I. Patterns of Plant Succession. *Journal of Ecology*, 76: 663-681.
- Zimmerman, J.K.; Pascarella, J.B. & Aide, T.M. 2000. Barriers to Forest Regeneration in an Abandoned Pasture in Puerto Rico. *Restoration Ecology*, Vol. 8 N° 4, pp. 350-360.