

**Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Instituto de Florestas  
Departamento de Silvicultura**

**LEGUMINOSAS ARBÓREAS PARA RECUPERAÇÃO DE  
ÁREAS DEGRADADAS: POTENCIAL DE SEQUESTRO DE  
CARBONO**

**Anderson Ribeiro Diniz**

**ORIENTADOR: Dr. Bruno José Rodrigues Alves**

**SEROPÉDICA – RJ  
DEZEMBRO – 2008**

**Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Instituto de Florestas  
Departamento de Silvicultura**

**LEGUMINOSAS ARBÓREAS PARA RECUPERAÇÃO DE  
ÁREAS DEGRADADAS: POTENCIAL DE SEQUESTRO DE  
CARBONO**

**Anderson Ribeiro Diniz**

**Monografia apresentada ao  
Instituto de Florestas da  
Universidade Federal Rural do  
Rio de Janeiro, como parte dos  
Requisitos para obtenção do  
título de Engenheiro Florestal**

**Aprovada em 12 de dezembro de 2008**

Banca Examinadora:

---

Dr. Bruno José Rodrigues Alves (EMBRAPA – Agrobiologia)  
Orientador

---

Dr<sup>a</sup> Cláudia Pozzi Jantalia (EMBRAPA – Agrobiologia)  
Titular

---

Dr. Ednaldo da Silva Araújo (EMBRAPA – Agrobiologia)  
Titular

**SEROPÉDICA – RJ**  
**DEZEMBRO - 2008**

**Dedico este trabalho  
A Deus, pelo Dom da Vida,  
Aos meus pais, pelo apoio e incentivo,  
E a todos que de uma forma ou de outra tenham  
contribuído para que eu chegasse até o fim.**

## Agradecimentos

Agradeço a **Deus** por ter me dado forças e sem o qual nada teria sido possível;

**Ao meu pai, José Vitor Diniz e a minha mãe Neuza Ribeiro Diniz** que abdicaram de muitas coisas de suas vidas, para o proveito de seus filhos;

**A meus irmãos, Flávio e Fernanda**, pelo estímulo e compreensão;

**A UFRuralRJ**, por ter me dado a oportunidade de ter concluído o ensino superior;

**A Embrapa Agrobiologia**, principalmente ao **Grupo Ciclagem de Nutrientes** pela confiança em minha pessoa;

Aos meus colegas, **Deivid, Fabiano, Keila, Raphael, Luany e Tattiane** pelos momentos de alegrias que passamos juntos ao longo da graduação;

**Aos moradores do quarto 527**, pela amizade e companheirismo.

A **todos** que por qualquer razão, infelizmente não lembrei de citar, fica um eterno agradecimento.

## Resumo

Este trabalho teve como objetivo demonstrar o potencial de leguminosas arbóreas para recuperar áreas degradadas. A atividade agrícola e o manejo inadequado do solo aceleram o processo de degradação, que é causado, principalmente, pela perda da matéria orgânica das camadas superficiais do solo, e forte erosão, diminuindo a sua fertilidade. O uso de leguminosas florestais tem sido testado como alternativa para re-vegetar solos inférteis devido à degradação, uma vez que a associação dessas espécies com bactérias fixadoras de N<sub>2</sub> atmosférico e fungos micorrízicos arbusculares permite que as demandas de N, P e outros nutrientes sejam suficientemente atendidas para que cresçam e alimentem o solo com resíduos orgânicos. Nesse processo, a matéria orgânica do solo volta a se acumular, melhorando a fertilidade do solo. Assim, o processo de recuperação de áreas degradadas pode ser uma alternativa para promover a redução da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera pela acumulação de carbono na biomassa e pelo incremento dos estoques do solo. Concomitantemente, outros benefícios também podem ser estabelecidos, como o aumento da biodiversidade e a recarga de lençóis freáticos.

**Palavras-chave:** solos, bactérias fixadoras de N<sub>2</sub>, seqüestro de C

## **Abstract**

This study aimed to demonstrate the potential of leguminous trees to restore degraded areas. The agricultural activity and inadequate soil management accelerates the degradation process, which is caused mainly by the loss of organic matter from the surface soil layers, and strong erosion, reducing their fertility. The use of leguminous trees has been tested as an alternative to re-vegetate infertile lands because of the degradation, since the combination of these species with atmospheric N<sub>2</sub> fixing bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi allows the demands of N, P and other nutrients are sufficiently met to grow, and feed the soil with organic residues. In this process, the soil organic matter starts to accumulate, improving soil fertility. Thus, the process of recovery of degraded areas can be an alternative to promote the reduction of the concentration of CO<sub>2</sub> in the atmosphere by the accumulation of carbon in biomass and the increase in soil stocks. Accordingly, other benefits may also be established, such as increasing biodiversity and recharge of aquifers.

**Key words:** soil, the N<sub>2</sub> fixing bacteria, sequestration of C

## SUMÁRIO

	<b>pág.</b>
Lista de Figuras .....	<b>ix</b>
Lista de Tabelas .....	<b>x</b>
1. Introdução .....	<b>1</b>
2. Revisão de Literatura.....	<b>2</b>
2.1 Processos de Degradação do Solo .....	<b>2</b>
2.2 Impactos Sobre o Meio Ambiente .....	<b>3</b>
2.3 Produção de Sedimentos e Qualidade da Água .....	<b>4</b>
2.4 Recuperação de Áreas Degradadas .....	<b>4</b>
2.5 Técnicas de Recuperação de Áreas Degradadas .....	<b>5</b>
2.6 Espécies de Leguminosas .....	<b>6</b>
2.7 Sucessão Vegetal em Áreas Degradadas .....	<b>7</b>
2.8 Seqüestro de Carbono no Solo .....	<b>10</b>
3. Conclusão .....	<b>13</b>
4. Referência Bibliográfica.....	<b>14</b>

## LISTA DE FIGURAS

pág.

**Figura 1:** Representação percentual dos processos de degradação do solo  
..... 2

**Figura 2:** Porcentagem de áreas degradadas nas Américas e demais continentes  
..... 3

## LISTA DE TABELAS

	<b>pág.</b>
<b>Tabela 1:</b> Espécies de Leguminosas Florestais recomendadas para recuperação de áreas.....	<b>7</b>
<b>Tabela 2:</b> Grupos Ecofisiológicos de espécies utilizadas no processo de sucessão.....	<b>9</b>
<b>Tabela 3:</b> Concentração de carbono ao longo de um perfil de (0-60 cm) das áreas recuperada, de florestas e não recuperada em Angra dos Reis, RJ.....	<b>11</b>
<b>Tabela 4:</b> Estoque de carbono ao longo do perfil (0-60 cm) das áreas recuperada, de floresta e não recuperada em Angra dos Reis, RJ.....	<b>11</b>

## **1. Introdução**

Os processos naturais decorrentes da modificação do regime de temperaturas, dos ciclos hidrológicos e da cobertura vegetal, com impactos no relevo e fertilidade do solo, entre outros, ocorrem nos ambientes naturais, mesmo sem a intervenção humana. No entanto, quando o homem desmata, planta, constrói etc, as transformações ocorrem com maior intensidade e velocidade, e nesse caso, as conseqüências para a sociedade são quase sempre desastrosas (GUERRA & CUNHA, 2003).

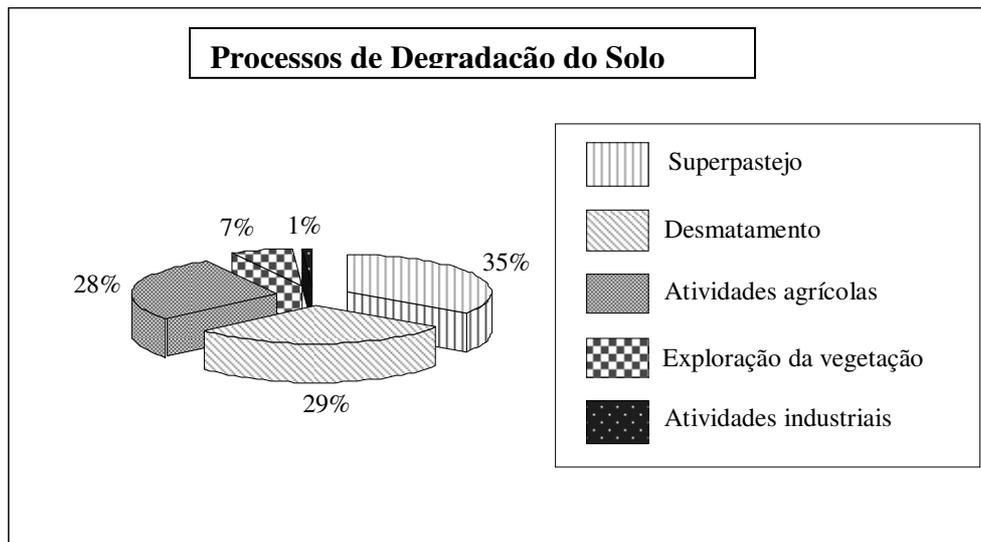
A aceleração dos processos de degradação do meio ambiente teve como principal agente causador o aumento da população de forma desordenada que passou a ocupar o ambiente de forma não planejada, ocasionando desmatamentos para a produção agropecuária e construções de casas em locais inadequados (CARVALHO et al., 1998). Com o aumento da demanda por matérias-primas para o desenvolvimento dos núcleos urbanos ocorreu uma intensificação muito grande do extrativismo para o suprimento das atividades industriais que passaram a se desenvolver com maior intensidade. O mau uso do solo para produção agrícola levou a deterioração desse recurso, traduzida pela perda de fertilidade, acarretando em queda de produtividade e qualidade das lavouras (BODDEY et al., 2003). Todo esse processo tem como ponto de partida a perda da matéria orgânica contida nas camadas superficiais do solo, que além de causar problemas na sua estrutura, disponibilidade de água e atividade biológica, prejudica o suprimento de nutrientes essenciais como P, S e, principalmente, N às plantas (FRANCO et al., 1992). Com a perda da cobertura vegetal, processo de erosão do solo é intensificado, sendo um dos mais sérios problemas associados à degradação do solo (FRANCO e CAMPELLO, 1992).

Estima-se que hoje no Brasil, 28% dos seus solos estejam degradados ou em processo de degradação, aproximadamente cento e oitenta milhões de hectares, devido ao desmatamento associado ao manejo inadequado do solo (FAO 2008).

## 2. Revisão de Literatura

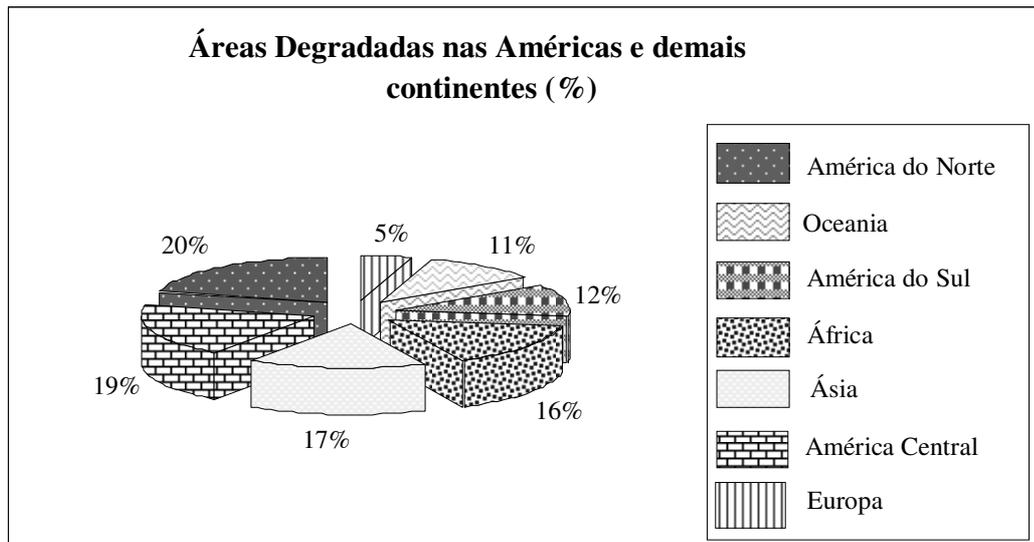
### 2.1 Processos de Degradação do Solo

Segundo OLDEMAN (1994), os processos causadores da degradação do solo são o desmatamento ou remoção da vegetação nativa, o superpastejo das espécies forrageiras, atividades agrícolas com uso insuficiente ou excessivo de fertilizantes, a exploração intensiva da vegetação para fins domésticos e atividade de mineração, sendo que o superpastejo e o desmatamento são os dois processos que mais contribuem para a degradação dos solos no mundo conforme indicado na (Figura 1).



**Figura 1:** Representação percentual dos processos de degradação do solo.

A degradação dos solos parece estar associada principalmente aos países não desenvolvidos, localizados na América, Ásia e África (Figura 2), uma vez que suas economias são baseadas no setor primário da economia, prevalecendo o extrativismo dos recursos minerais e vegetais.



**Figura 2:** Porcentagem de áreas degradadas nas Américas e demais continentes

## 2.2 Impactos Sobre o Meio Ambiente

Os solos severamente degradados são extremamente pobres em todos os nutrientes essenciais para o crescimento vegetal. Isso faz com que seja necessária a aplicação de grandes quantidades de fertilizantes e corretivos para revegetar estas áreas, o que torna o processo de recuperação destas áreas extremamente caro e muitas das vezes inviável do ponto de vista econômico, devido ao alto custo para a recuperação destes solos.

No Brasil, a Mata Atlântica é um dos biomas brasileiros mais alterados por atividades antrópicas, inicialmente pelo extrativismo e depois pelo inadequado manejo agrossilvipastoril, culminando com a degradação dos solos (BODDEY et al., 2003). Estas perdas de solo podem chegar até 200 toneladas  $ha^{-1}ano^{-1}$  (FRANCO 2005).

Além das perdas de solo, um dos problemas associados à degradação dos ecossistemas naturais é o efeito estufa do planeta. A conversão de florestas em agricultura e o mau uso do solo nos trópicos são os processos que mais contribuem para o aumento da concentração dos gases do efeito estufa na atmosfera (MUTUO et al., 2005). Estima-se que o desmatamento associado ao manejo inadequado do solo tenha contribuído com 10-20% do  $CO_2$  emitido para a atmosfera no mundo durante as décadas de 80 e 90 (LAL, 2004).

Estudos estão sendo desenvolvidos sobre o papel dos ecossistemas florestais como fonte e dreno de gases do efeito estufa, principalmente em relação ao carbono (BROWN & LUGO, 1992). No Brasil, os estudos estão concentrados, principalmente, na região da Floresta Amazônica (VERCHOT et al., 2000), sendo raros aqueles desenvolvidos na região de Mata Atlântica (MADDOCK et al., 2001).

## **2.3 Produção de Sedimentos e Qualidade da Água**

Com a degradação do solo, grandes extensões de terra são abandonadas com insuficiente cobertura vegetal, tornando-se um grande problema relacionado à perdas de solo por erosão. Através da ação dos ventos, chuvas e enxurradas ocorre aumento do escoamento superficial, levando a uma menor infiltração da água da chuva reduzindo a recarga do lençol freático, comprometendo as nascentes.

A qualidade da água é resultante dos inúmeros processos, físicos, químicos e biológicos que ocorrem na bacia de drenagem de rios e lagos. As características marcantes da água são a sua capacidade de dissolução de substâncias e a sua capacidade de transporte de materiais, principalmente de partículas em suspensão.

As substâncias e as partículas sólidas na água são transportadas e mudam constantemente de posição, estabelecendo um caráter dinâmico para a qualidade da água. Um exemplo deste problema, é o Rio São Francisco que devido ao desmatamento ocorrido nas suas margens e as atividades agropecuárias ao longo do seu leito faz com que ocorra a chegada de 10 toneladas /sedimentos/ Km<sup>2</sup> área da bacia/ano neste rio (FAO 2008).

A ocorrência de arraste de partículas de solo, causando a deposição destas partículas em rios e lagos, leva ao assoreamento e diminuição da qualidade da água, com desaparecimento de espécies de plantas e animais e prejudicando comunidades que dependem desta água para sobreviver.

## **2.4 Recuperação de Áreas Degradadas**

A recuperação de áreas degradadas pode ser definida como um processo de reversão da degradação para terras produtivas e auto-sustentáveis, de acordo com uma proposta preestabelecida de uso do solo (IBAMA, 1990).

GRIFFITH (1980) definiu recuperação como a reparação dos recursos ao ponto que seja suficiente para restabelecer a composição e a frequência das espécies encontradas originalmente. A recuperação envolve qualquer processo que visa à obtenção de uma nova utilização para a área degradada.

A recuperação de áreas degradadas trata de criar condições para o restabelecimento de complexas redes de relações ecológicas entre solo, plantas, animais e microclima, que permitam o reequilíbrio dinâmico da natureza em áreas hoje desprovidas dessas condições (REIS et al., 1999). Para isto são aplicadas técnicas como: manutenção da cobertura do solo utilizando a rotação de culturas e pastagens, manutenção da cobertura florestal, construção de terraços para evitar perdas de solo causadas por enxurradas, utilização de sistemas agroflorestais, cultivo mínimo, plantio direto, plantio de cultura em faixas, uso de quebra ventos, reflorestamentos, plantios em curva de nível para locais declivosos. Uma condição estável deve ser obtida em conformidade com os valores ambientais, estéticos e sociais da circunvizinhança. Isto significa que o sítio degradado terá condições mínimas de estabelecer um novo equilíbrio dinâmico, desenvolvendo um novo solo e uma nova paisagem (IBAMA, 1990).

De acordo com REIS et al.,(1999) quando se pretende iniciar a recuperação de áreas degradadas é preciso ter o intuito de promover uma nova dinâmica de sucessão ecológica na área, onde a área degradada é o ponto de partida para o restabelecimento de uma nova comunidade de espécies vegetais. Em um processo de recuperação de áreas degradadas deve-

se levar em consideração o planejamento ambiental, realizando um diagnóstico do processo que levou a degradação, uma análise da área degradada para verificação de como será a melhor maneira de recuperá-la e finalmente a realização do monitoramento deste processo de recuperação para que ocorra uma avaliação final para a averiguação se a recuperação está sendo eficiente ou se precisa ser adotadas novas medidas de recuperação.

Quando se inicia um processo de recuperação de áreas degradadas, vislumbra-se a produção de água, oferta de propágulos, banco de sementes, aumento de biodiversidade, melhoria das qualidades físicas e químicas do solo, proteção contra a erosão e ciclagem de nutrientes. A revegetação deve visar uma sucessão no sentido de aproximar a forma e a função da paisagem anterior que antes de ser degradada contribuía com os seus serviços ambientais para o ecossistema onde está inserida. Este processo caracterizaria-se principalmente pelo gradual aumento e substituição de espécies no tempo, em função das diferentes condições ambientais que vão se estabelecendo, à medida que as espécies vegetais vão se estabelecendo em condições em que se adaptem melhor.

## 2.5 Técnicas de Recuperação de Áreas Degradadas

Existem várias técnicas que permitem restabelecer a vegetação das áreas degradadas. Entre elas, há a possibilidade de utilizar-se camadas férteis de solo de locais que foram usados como áreas de empréstimo na construção de aterros ou de barragens, consistindo na remoção e armazenamento dos horizontes superficiais do solo caracterizados, principalmente, pela existência de matéria orgânica e atividade biológica (KNOWLES 1992). Os horizontes superficiais que foram previamente removidos e armazenados são devolvidos e espalhados em camadas como forma de permitir o estabelecimento de uma nova vegetação nesta área.

Outra alternativa, para a recuperação de áreas degradadas seria a utilização de sistemas agroflorestais que contribuem para o controle dos processos erosivos cobrindo o solo e para a manutenção da fertilidade do solo através da ciclagem de nutrientes promovida pelas árvores em consórcio com outras culturas, podendo ser estas árvores leguminosas fixadoras de N ou não. Essa técnica tem relativamente menor custo de implantação, porém existe certa complexidade no manejo das espécies a serem utilizadas (DUBOIS 1989).

Segundo KOPEZINSKI (2000) a seleção das espécies a serem aplicadas em processos de recuperação é de fundamental importância, sendo que as condições estruturais e fisiológicas em que os solos se apresentam para receber as sementes contribui para o desenvolvimento das diversas gamas de espécies vegetais que serão utilizadas no processo de recuperação.

ZIMMERMANN e TREBIEN (2001) afirmam que as espécies vegetais que serão introduzidas, através de banco de sementes ou semeadura, no processo de recuperação, devem ser adaptadas às condições de fertilidade e principalmente às características físicas do solo. Os mesmos autores relatam que quando não ocorre a aplicação de grandes quantidades de material orgânico, são os vegetais empregados na recuperação que devem ter a capacidade de retornar ao solo este componente de grande importância no estabelecimento do início do processo de formação de um novo solo capaz de dar suporte a uma nova vegetação.

A recuperação de áreas degradadas a partir da semeadura de sementes de gramíneas perenes, leguminosas e outras espécies herbáceas, também constitui-se uma técnica para se obter bons resultados na recuperação da área que está degradada. O capim gordura (*Melinis minutiflora*) é uma espécie que possui grande capacidade de colonizar solos degradados (DAVIDE 1994). Este cobre os solos rapidamente dando proteção e além de incorporar grandes quantidades de matéria orgânica, mas seu crescimento rápido e agressivo impede o

crescimento das plântulas e acaba inviabilizando o estabelecimento de espécies arbóreas, prejudicando o processo de sucessão secundária, outro fator negativo desta espécie é a de apresentar susceptibilidade de risco de incêndio na época da seca.

Outra estratégia é a criação de um tapete verde através da semeadura direta de sementes de gramíneas perenes e leguminosas. Esta estratégia visa à rápida cobertura do solo, a interrupção dos processos erosivos e redução do escoamento superficial da água, o desenvolvimento de sistemas radiculares profundos faz com que haja o fornecimento de matéria orgânica ao solo.

Como alternativa aos problemas de perda de produtividade e de degradação do solo, o uso de leguminosas arbóreas vem sendo preconizado (RESENDE et al., 2006).

FARIA e FRANCO (1994) recomendam revegetar totalmente a área a ser recuperada, utilizando espécies florestais de rápido crescimento, combinadas com espécies de crescimento mais lento, pois essa técnica tem se destacado por fornecer o rápido recobrimento do solo, auxiliar na redução dos efeitos das chuvas e garante a continuidade do processo de regeneração. O recobrimento vegetal, também pode ser feito com a utilização de pontos revegetados dentro da área degradada servindo como fonte de propágulos.

Devido a eficiente associação com bactérias fixadoras de N<sub>2</sub> atmosférico e fungos micorrízicos arbusculares, essas espécies podem crescer em solos com limitações de fertilidade. A interação com micorrizas arbusculares garante a melhor absorção de fósforo. Esta vantagem faz com que estas plantas consigam ter sucesso mesmo em condições muito drásticas de degradação. A técnica permite a revegetação rápida, mesmo nos locais onde o subsolo já esteja exposto.

O uso de leguminosas fixadoras de nitrogênio vem sendo preconizado como forma de acelerar a incorporação de matéria orgânica e nitrogênio no solo de modo a tornar os sistemas mais sustentáveis (FRANCO e FARIA, 1997). Pode-se citar o uso destas espécies em sistemas agroflorestais (SILVA et al., 2006), silviculturais (BALIEIRO, 2002), silvipastoris (SILVA et al., 2006) e na recuperação de áreas degradadas (FRANCO & FARIA, 1997).

As leguminosas arbóreas fixadoras de nitrogênio produzem uma elevada produção de biomassa que ativa os processos biológicos do solo, favorecendo uma incorporação relativamente rápida de quantidades substanciais de matéria orgânica e nitrogênio ao solo. A grande quantidade de serrapilheira produzida contribui para reciclagem de nutrientes e os processos de reabilitação do ecossistema servindo como banco de sementes e fonte primária de nutrientes e energia para organismos do solo (MACEDO et al, 2008).

Devido a capacidade destas espécies em incorporar quantidades substanciais de C no solo (BODDEY et al., 2003), estas vem sendo avaliadas quanto a sua capacidade de auxiliar nos processos de sucessão ou mesmo, promover o acúmulo de C no solo e biomassa em áreas degradadas.

## **2.6 Espécies de Leguminosas Utilizadas no Processo de Recuperação**

As espécies da família *Leguminosae*, possuem a capacidade de manter uma simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico conferindo a essas plantas quase que total auto-suficiência neste elemento. Essas espécies são associadas a fungos micorrízicos, que propiciam um melhor aproveitamento dos nutrientes do solo principalmente o fósforo e água, conseguem se estabelecer em solos de diversas características e com baixo teor de matéria orgânica (FARIA et al., 2000). Na Tabela 1 são listadas várias espécies usadas na recuperação de áreas degradadas, agrupadas em função do tipo de ambiente que podem se desenvolver.

Tabela 1: Espécies de Leguminosas Florestais recomendadas para recuperação de áreas.

<b>Espécies tolerantes a solos ácidos</b>	<b>Espécies para solos pouco drenados</b>
<i>Acacia koa</i>	<i>Acacia auriculiformis</i>
<i>Acacia mangium</i>	<i>Acacia mangium</i>
<i>Acacia mearnsii</i>	<i>Acacia nilotica</i> árido
<i>Acácia saligna</i>	<i>Acacia saligna</i>
<i>Albizia falcataria</i>	<i>Aeschynomene denticulata</i>
<i>Albizia lebbek</i>	<i>Aeschynomene fluminenses</i>
<i>Albizia procera</i>	<i>Alnus rubra</i>
<i>Albizia saman</i>	<i>Casuarina equisetifolia</i>
<i>Calliandra calothyrsus</i>	<i>Chamaecrista nictitans</i> var. <i>praetexta</i>
<i>Casuarina glauca</i>	<i>Dalbergia sissoo</i>
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	<i>Erythrina fusca</i>
<i>Erythrina berteroana</i>	<i>Inga</i> spp.
<i>Erythrina fusca</i>	<i>Mimosa bimucronata</i>
<i>Erythrina poeppigiana</i>	<i>Neptunia plena/próstata</i>
<i>Erythrina variegata</i>	<i>Sesbania bispinosa</i>
<i>Flaemingia macrophylla</i>	<i>Sesbania exasperata</i>
<i>Inga edulis</i>	<i>Sesbania grandiflora</i>
<i>Mimosa caesalpiniiifolia</i>	<i>Sesbania sesban</i>
<i>Mimosa scabrella</i>	<i>Sesbania virgata</i>
<i>Robinia pseudoacacia</i>	
<b>Espécies tolerantes a solos salinos</b>	<b>Espécies tolerantes a solos alcalinos</b>
<i>Acácia nilótica</i>	<i>Acacia auriculiformis</i>
<i>Acácia saligna</i>	<i>Casuarina glauca</i>
<i>Albizia lebbek</i>	<i>Prosopis cinerária</i>
<i>Casuarina equisetifolia</i>	
<i>Casuarina glauca</i>	
<i>Intsia bijuca</i>	
<i>Pithecellobium Dulce</i>	
<i>Prosopis cinerária</i>	
<i>Prosopis tamarugo</i>	

Fonte: FARIA et al., 2000.

## 2.7 Sucessão Vegetal em Áreas Degradadas

Nos programas de recuperação de áreas degradadas há a necessidade de buscar a implantação de trabalhos que apresentem semelhanças quanto ao processo da sucessão ecológica, para que se possa atingir a resiliência do ambiente que foi alterado (CAMPELLO 1998).

O ambiente que sofreu algum tipo de degradação começa a responder às perturbações do meio através das fontes de propágulos, dos agentes dispersores, das condições microclimáticas e do substrato que garantem o início do processo sucessional que pode chegar novamente ao estágio de clímax ou somente ocorrer um processo sucessional que garanta a proteção do solo.

A recuperação de áreas degradadas deve ser feita o mais rápido possível antes que os processos de degradação se acentuem e causem dificuldades para que se possa ter novamente uma qualidade ambiental.

Para se obter sucesso no processo de recuperação é preciso fazer uma análise do antes da degradação, buscando informações sobre a fitossociologia, a direção sucessional e dos agentes dispersores e analisar o depois da degradação, passando pela identificação dos fatores limitantes da reação do ambiente e a tentativas de mitigá-los (CAMPELLO 1998).

CAMPELLO (1998) recomenda que, para a sucessão seja mais eficiente às plantas devem ser estabelecidas rapidamente com o menor uso possível de insumos. Remanescentes de vegetação originais podem contribuir para a colonização vegetal das áreas degradadas em processo de recuperação com leguminosas arbóreas.

Os agentes dispersores possuem uma participação muito importante no processo de recuperação, visto que eles são responsáveis pela distribuição dos propágulos, podendo estes, serem divididos em duas classes: os abióticos e bióticos. Dentro dos agentes abióticos o que apresenta maior relevância é a dispersão autocórica que consiste na abertura do fruto e queda das sementes direto no chão o que leva a semente a começar a germinar, dando início ao banco de plântulas. Já nos agentes bióticos a via zoocórica compreende todos os agentes bióticos de dispersão. Morcegos, aves e pequenos roedores constituem alguns dos principais dispersores de espécies vegetais pioneiras, fundamentais no processo de sucessão vegetal primária.

A sucessão vegetal caracteriza-se principalmente por seu gradual aumento e substituição de espécies no tempo, em função das diferentes condições ambientais que vão se estabelecendo, às quais diferentes espécies se adaptam melhor.

SEITZ (1994) deixa evidente que, quando se pretende recuperar a vegetação de uma área degradada, é preciso ter o conhecimento das espécies que teriam a função de clímax neste ambiente e das espécies que contribuiriam para a evolução desta sucessão.

Para que o processo de sucessão ocorresse de forma semelhante ao que ocorre naturalmente no ambiente, as espécies a serem utilizadas no processo de recuperação (Tabela 4), seriam divididas em quatro grupos ecofisiológicos de acordo com (GONÇALVES et al, 1992) com suas devidas características:

**Tabela 2:** Grupos Ecofisiológicos de espécies utilizadas no processo de sucessão:

<p style="text-align: center;"><b>ESPÉCIES PIONEIRAS</b></p> <p style="text-align: center;">Desenvolvem-se em clareiras, bordas ou locais abertos Grande número de espécies Grande densidade de plantas por hectares Pequeno ciclo de vida de 10 a 20 anos Dispersão de sementes por agentes generalistas Longa viabilidade das sementes Grande produção de sementes Sementes em geral pequenas Altas taxas de crescimento vegetativo Alta plasticidade fenotípica</p>
<p style="text-align: center;"><b>SECUNDÁRIAS INICIAIS</b></p> <p style="text-align: center;">Desenvolvem-se em locais semi-abertos Aceitam somente o sombreamento parcial Convivem com as pioneiras em menor densidade nas fases iniciais da sucessão florestal Grupo mais representativo nos estágios médios de sucessão</p>
<p style="text-align: center;"><b>SECUNDÁRIAS TARDIAS</b></p> <p style="text-align: center;">Desenvolvem exclusivamente em sub-bosque, em áreas permanentemente sombreadas Suas mudas vão compor o banco de plântulas da floresta Iniciam sua presença em estágios médios de sucessão São geralmente árvores de grande porte Suas sementes são dispersas por gravidade e por alguns grupos de animais</p>
<p style="text-align: center;"><b>ESPÉCIES CLIMAX</b></p> <p style="text-align: center;">Regeneram e se desenvolvem em plena sombra Suas sementes possuem geralmente pequena viabilidade e raramente apresentam algum tipo de dormência Sementes dispersas por gravidade, mamíferos e roedores Apresentam baixa densidade por área Existe um grande número de espécies, deste grupo em florestas primárias e nos estágios avançados de sucessão Em pequenos fragmentos florestais isolados são geralmente espécies raras Ciclo de vida longo Não necessitam de clareiras para sua regeneração Definem a estrutura final da floresta Crescimento vegetativo lento</p>

**Fonte:** GONÇALVES et al., 1992

## 2.8 Seqüestro de Carbono no Solo

A matéria orgânica é o principal componente que suporta a fertilidade e a capacidade produtiva dos solos tropicais, pois ela é responsável pela CTC do solo, retenção de bases e íons, agregação do solo, reserva hídrica e seu incremento no solo é fortemente dependente da quantidade de resíduos e da disponibilidade de N para a biomassa microbiana do solo (CHRISTOPHER & LAL, 2007). Como a degradação dos solos levou a uma grande emissão de C da matéria orgânica para a atmosfera, os esforços atuais são para implementar sistemas vegetais que permitam acumular o C novamente no solo, o que vem sendo chamado de seqüestro de C no solo.

A recuperação de áreas degradadas tem um grande potencial para aumentar o seqüestro de C quando for devidamente revegetada e explorada com práticas conservadoras do solo e da água.

De acordo com (BATJES, 1999), o potencial de seqüestro de C de solos degradados pode atingir valores de 1,29 Gt C ano<sup>-1</sup> e isto têm uma importância muito grande, pois além de seqüestrar CO<sub>2</sub> atmosférico, enriquece e melhora a qualidade do solo. De acordo com este autor, a recuperação de áreas degradadas poderia aumentar o estoque global de carbono no solo em 32,2 Gt nos próximos 25 anos.

SHRESTHA & LAL (2006) estimaram que, somente nos Estados Unidos, a recuperação pode assegurar, anualmente o seqüestro de 16 Tg de C-CO<sub>2</sub>, com taxas que podem variar de 0,1 a 3,1 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e de 0,7 a 4,0 t ha<sup>-1</sup> para áreas de gramíneas e de florestas, respectivamente. Avaliando o potencial de seqüestro de carbono no sudoeste de Ohio, Estados Unidos (AKALA & LAL, 2001) relatam que em uma cronosequência de áreas de mineração de carvão reabilitada com dois sistemas de uso utilizando pastagem e floresta, verificou-se que o estoque de carbono no solo aumentou com o tempo e que, embora as quantidades de carbono depositadas fossem diferentes, o acúmulo de carbono foi muito semelhante entre a área recuperada e de floresta. Na área com pastagem e aplicação de camada de solo fértil, o estoque de carbono aumentou de 9,2 para 55,4 Mg ha<sup>-1</sup> após 25 anos, considerando-se a camada de 0-15 cm e de 7,8 para 37,8 Mg ha<sup>-1</sup> na profundidade de solo de 15-30 cm. Já na área reflorestada a quantidade de carbono aumentou de 14 para 48,4 Mg ha<sup>-1</sup> em 21 anos, para camada de 0-15 cm de profundidade e de 8,4 a 14,5 Mg ha<sup>-1</sup> na camada de 15-30 cm.

MACEDO (et al.,2008) avaliou o estoque de carbono do solo em áreas recuperadas com leguminosas arbóreas fixadoras de nitrogênio na região de Angra dos Reis - RJ, onde a área tinha sido recuperada há 13 anos, após ter sido utilizada como área de empréstimo. O uso das leguminosas foi comparado a um fragmento florestal de Mata Atlântica e área uma de empréstimo que fora colonizada por (*Panicum Maximum*). Após 13 anos, a concentração de carbono na camada de 0-5 cm da área recuperada com as leguminosas foi igual ao da mata nativa. O C no solo da área recuperada foi maior do que o solo da área desmatada, devido a grande quantidade de serrapilheira aportada, similar aos valor de C do solo da mata nativa conforme indicado nas Tabelas (3 e 4).

**Tabela 3:** Concentração de carbono ao longo de um perfil de (0-60 cm) das áreas recuperada, de florestas e não recuperada em Angra dos Reis, RJ.

Profundidade (cm)	Área Recuperada	Floresta Nativa	Área Não Recuperada
<b>C (g Kg<sup>-1</sup>)</b>			
0-5	18.5 <sup>a</sup>	17.5 <sup>ab</sup>	11.0 <sup>b</sup>
5-10	15.0	16.0	9.9
10-20	13.6 <sup>ab</sup>	16.1 <sup>a</sup>	9.3 <sup>b</sup>
20-30	11.2	10.5	6.8
30-40	9.6	10.9	6.2
40-60	6.0	10.2	6.2

Médias acompanhadas de letras iguais, na linha, não diferem entre si segundo o teste t de Bonferroni 5%.

Fonte:(MACEDO et al., 2008)

**Tabela 4:** Estoque de carbono ao longo do perfil (0-60 cm) das áreas recuperada, de floresta e não recuperada em Angra dos Reis, RJ.

Profundidade (cm)	Área Recuperada	Floresta Nativa	Área Não Recuperada
<b>Estoque de C (Mg ha<sup>-1</sup>)</b>			
0-5	10,9 <sup>a</sup>	12,0 <sup>a</sup>	7,1 <sup>a</sup>
5-10	10,6 <sup>a</sup>	10,9 <sup>a</sup>	7,2 <sup>a</sup>
10-20	19,7 <sup>a</sup>	21,7 <sup>a</sup>	13,3 <sup>a</sup>
20-30	15,9 <sup>a</sup>	16,8 <sup>a</sup>	11,0 <sup>a</sup>
30-40	14,4 <sup>a</sup>	17,9 <sup>a</sup>	10,1 <sup>a</sup>
40-60	21,5 <sup>a</sup>	34,1 <sup>a</sup>	19,8 <sup>a</sup>
0-30	57,2 <sup>a</sup>	61,4 <sup>a</sup>	38,5 <sup>b</sup>
0-60	92,7 <sup>a</sup>	100,3 <sup>a</sup>	68,5 <sup>b</sup>

Médias acompanhadas de letras iguais, na linha, não diferem entre si segundo o teste t de Bonferroni 5%.

Fonte:(MACEDO et al., 2008)

BROWN & LUGO (1990) encontraram valores de concentração de carbono em área de mata tropical em Porto Rico superiores (18-23 g kg<sup>-1</sup> nos primeiros 25 cm de solo) aos encontrados neste estudo na área de mata nativa (18,4-16,1 g kg<sup>-1</sup> a 0-30 cm).

Através destes resultados podemos concluir que a recuperação de áreas degradadas a partir da utilização de espécies da família (*Leguminosae*) noduladas e micorrizadas têm um grande potencial em contribuir para o incremento do estoque de carbono do solo.

Tendo em vista que o potencial de seqüestro de carbono atmosférico varia muito entre as espécies vegetais, ao selecionar plantas para a recuperação de áreas degradadas, deve-se priorizar aquelas com maior potencial de produção de biomassa que assim garantirão maior aporte de carbono ao solo.

As leguminosas arbóreas favorecerem a incorporação de carbono ao solo porém estas podem também contribuir para a emissão de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), que é um dos gases causadores do efeito estufa. Esse gás tem alta capacidade de absorver radiação infravermelha e alta estabilidade na atmosfera, além de causar a oxidação do ozônio (O<sub>3</sub>), que forma a camada que envolve o planeta. Como a quantidade de serrapilheira das leguminosas é rica em N, e este material associado a condições de temperatura e umidade pode favorecer os processos de perda de N pela atividade biológica do solo contribuindo para a emissão de N<sub>2</sub>O.

DICK (et al., 2001), realizou um estudo em sistemas agroflorestais que utilizam espécies arbóreas fixadoras de N e espécies arbóreas não fixadoras e seus resultados mostram que nos sistemas onde foram implantadas espécies não fixadoras, houve uma emissão de 96 µg NO-N m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, já nos sistemas onde haviam espécies fixadoras ocorreu uma emissão de 200 µg N<sub>2</sub>O-N m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>. Com isso podemos concluir que onde existiam espécies fixadoras de N, a emissão de N<sub>2</sub>O foi cerca de quatro vezes superior do que os sistemas que não continham espécies não fixadoras.

Assim, é possível que o uso de leguminosas arbóreas de crescimento rápido, capazes de aportar quantidades substanciais de biomassa como resíduo, contribua também para maior emissão de NO e N<sub>2</sub>O para a atmosfera, cancelando parte do benefício conseguido com a acumulação de C no solo. No entanto, deve-se considerar que os resultados de emissão de N<sub>2</sub>O devidos às leguminosas são provenientes de um número muito pequeno de estudos que precisam ser confirmados para as regiões tropicais.

### 3. Conclusão

A recuperação de áreas degradadas tem um papel crucial no restabelecimento do solo, protegendo-o contra processos erosivos e de perda de fertilidade, permitindo que este possa novamente tornar-se produtivo e utilizável de forma racional gerando riqueza e benefícios para a sociedade. A técnica de recuperação de áreas que utiliza leguminosas arbóreas mostra-se muito eficiente, pois devido a associação que estas espécies possuem com bactérias fixadoras de N e fungos micorrízicos arbusculares, fica garantido o suprimento de N e P que são elementos essenciais para o desenvolvimento da vegetação em locais que sofreram degradação e não existem mais as camadas superficiais do solo, rica em matéria orgânica. Estas leguminosas arbóreas produzem uma elevada produção de serrapilheira, contribuindo para a ciclagem de nutrientes e aumento da fertilidade, favorecendo a melhoria das condições do solo e permitindo a instalação de uma nova comunidade biológica no solo e posteriormente ocorrendo a sucessão vegetal. As áreas recuperadas apresentam um grande potencial para a mitigação do efeito estufa, devido ao sequestro de C promovido pela parte aérea e principalmente no solo com o acúmulo de matéria orgânica, mas como a serrapilheira destas leguminosas é muito rica em N existe a possibilidade de maior emissão de  $N_2O$ , o que contrabalancearia os ganhos com acumulação de carbono, o que ainda precisa ser confirmado.

#### 4. Referência Bibliográfica:

- AKALA, V. A.; LAL, R. Matéria Orgânica em solos de Áreas Degradadas. In: SANTOS, G. A., SILVA, L. S., CANELLAS, L. P., CAMARGO, F. A. O. (Eds.) Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: ecossistemas tropicais & subtropicais. Porto Alegre: Metrópole, p.495-520, 2008.
- BALIEIRO, F. C. Dinâmica de nutrientes e da água em plantios puros e consorciados de *Pseudosamanea guachapele* Dugand e *Ecalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. 2002. 92p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.
- BATJES, N. H. Matéria Orgânica em solos de Áreas Degradadas. In: SANTOS, G. A., SILVA, L. S., CANELLAS, L. P., CAMARGO, F. A. O. (Eds.) Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: ecossistemas tropicais & subtropicais. Porto Alegre: Metrópole, p.495-520, 2008.
- BODDEY, R. M. ; XAVIER, D. ; ALVES, B. J. R. ; URQUIAGA, S. . Brazilian Agriculture: The Transition to Sustainability. *Journal Of Crop Production*, New York, USA, v. 9, n. 1/2, p. 593-621, 2003.
- BROWN, S. & LUGO, A. E. Manejo agroflorestal para recuperação de áreas degradadas vis-a-vis seqüestro de carbono, armazenamento de água no solo, valoração econômica e ambiental. Seropédica, RJ: EMBRAPA – CNPAB, 2003-2005. 137p. (EMBRAPA – CNPAB, Relatório de Projeto de Pesquisa Prodetab -Projeto 036).
- CAMPELLO, E. F. C. Sucessão Vegetal na Recuperação de Áreas Degradadas. In: DIAS, L. E.; MELLO, J. W. V. (Eds.). Recuperação de Áreas Degradadas, Viçosa: UFV, p. 183 - 196, 1998.
- CARVALHO, S. R. de; ALMEIDA, D. L. de; ARONOVICH, S.; CAMARGO FILHO, S. T.; DIAS, P. F.; FRANCO, A. A. Recuperação de Áreas Degradadas do Estado do Rio de Janeiro. Seropédica: Embrapa *Agrobiologia*, nov. 1998. 11p. (Embrapa-CNPAB. Documentos, 76).
- CHRISTOPHER, S. F.; LAL, R. Nitrogen management affects carbon sequestration in North American cropland soils. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 26:45–64, 2007.
- DAVIDE, A. C. Seleção de espécies vegetais para recuperação de áreas degradadas. In: Simpósio sul-americano de áreas degradadas. Foz do Iguaçu. Paraná-Brasil, 1994.
- DICK, J. SKIBA, U. WILSON, J. The Effect of Rainfall on NO and N<sub>2</sub>O Emissions from Ugandan Agroforester Soils. *Phyton (Austria) Special issue: Nitrogen emissions Vol. 41, Fascículo 1, pag. 73-80, 2001.*
- DUBOIS, J. C. L. Agroflorestas: uma alternativa para o desenvolvimento rural sustentado. REBRAF, Rio de Janeiro, Informativo Agroflorestal, 5 p. 1989.
- FARIA, S. M.; FRANCO, A. A. Espécies leguminosas fixadoras de nitrogênio para revegetação de áreas degradadas. In: I Simpósio Sul-Americano e II Simpósio Nacional –

Recuperação de áreas degradadas. Trabalhos voluntários. 1994, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu, 1994.

FARIA, S. M. de; CAMPELO, E. F. C. Algumas espécies de leguminosas fixadoras de nitrogênio recomendadas para vegetação de áreas degradadas. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2000. 8 p. (Embrapa Agrobiologia. Recomendação Técnica, 7).

FRANCO, A.A. AND FARIA, S.M. 1997. The contribution of N<sub>2</sub>-fixing tree legumes to land reclamation and sustainability in the tropics. Soil Biol. Bioch. 29, 897-903, 1997.

FRANCO, A.A.; CAMPELLO E.F.; SILVA, E.M.R.:. Revegetação de solos degradados. Série Comunicado Técnico, nº. 09. EMBRAPA-CNPAB, Seropédica, 9 p. 1992.

FRANCO, A.A: Manejo agroflorestal para recuperação de áreas degradadas vis-a-vis sequestro de carbono, armazenamento de água no solo, valoração econômica e ambiental. Seropédica, RJ: EMBRAPA – CNPAB, 2003-2005. 137p. (EMBRAPA – CNPAB, Relatório de Projeto de Pesquisa Prodetab -Projeto 036).

GONÇALVES, J.L.M.; FREIXÊDAS, V.M.; KAGEYAMA, P.V.; GONÇALVES, J.C.; DIAS, J.H.P. Produção de Biomassa e Sistema Radicular de Espécies de Diferentes Estágios Sucessionais. Rev. Inst. Flor. São Paulo, 4:363-368, 1992.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. Geomorfologia e meio ambiente. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 394p.

GRIFFITH, J. J. Recuperação conservacionista de superfícies mineradas. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1980. 51 p. (SIF. Boletim Técnico, 2).

IBAMA. Manual de Recuperação de áreas degradadas pela mineração. Brasília, IBAMA, 1990. 96p.

KOPEZINSKI, I. Mineração x meio ambiente: considerações legais, principais impactos ambientais e seus processos modificadores. Porto Alegre. Ed Universidade. UFRGS, 2000.

KNOWLES, O. H. Planejamento Gerencial Aplicado na Recuperação de Áreas Degradadas. In: Simpósio Nacional Sobre Recuperação de Áreas Degradadas. Trabalhos voluntários. Curitiba. Anais... Curitiba 1992, 520 p.

LAL, R. Agricultural activities and the global carbon cycle. Nutrient Cycling in Agroecosystems 70: 103-116, 2004.

MACEDO. M. O. RESENDE. A. S. GARCIA. P. C. BODDEY. R. M. JANTALIA. C. P. URQUIAGA. S. CAMPELLO. E. F. C. FRANCO. A. A. Changes in soil C and N stocks and nutrient dynamics 13 years after recovery of degraded land using leguminous nitrogen-fixing trees. For Ecology and Management 255 (2008) 1516-1524.

MADDOCK, J.E.L., SANTOS M.B.P. DE & PRATA K.R. Nitrous oxide emission from soil of the Mata Atlântica, Rio de Janeiro state, Brazil. *Journal of Geophysical Research* 106: 23055-23060, 2001.

MUTUO, P.K.; CADISH, G.; ALBRECHT, A.; PALM, C.A.; VERCHOT, L. Potential of agroforest for carbon concentration and mitigation of greenhouse gas emissions from soil in the tropics. *Nutrient Cycling Agroecosystems*. 71, 43-54, 2005.

OLDEMAN, L. R. The Global extent of soil degradation. In: DIAS, L. E. MELLO, J. W.V.(Eds.). *Recuperação de Áreas Degradadas*, Viçosa: UFV, p.13, 1998.

REIS, A., ZAMBONIN, R. M.; NAKAZONO, E. M. Recuperação de áreas florestais degradadas utilizando a sucessão e as interações planta-animal. *Série Cadernos da Biosfera* 14. Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica. Governo do Estado de São Paulo. São Paulo, 1999. 42 p.

RESENDE, A. S.; MACEDO, M.; CAMPELLO, E. F. C.; FRANCO, A. A. Recuperação de áreas degradadas através da reengenharia ecológica. In: I. GARAY; B. SEITZ, R. A. *A regeneração natural na recuperação de áreas degradadas*. In: Simpósio sul-americano de áreas degradadas. Foz do Iguaçu. Paraná-Brasil, 1994.

SILVA, G.T.A.; RESENDE, A.S. CAMPELLO, E.F.C.; DIAS, P.F.; FRANCO, A.A. Importância da fixação biológica de nitrogênio na sustentabilidade de sistemas agroflorestais. In: *Sistemas agroflorestais: bases científicas para o desenvolvimento sustentável*. Ed. Gama-Rodrigues, A.C.; Barros, N.F.; Gama-Rodrigues, E.F.; Freitas, M.S.M.; Viana, A.P.; Jasmin, J.M.; Marciano, C.R.; Carneiro, J.G.A. UENF, Campos dos Goitacazes, RJ. 2006. p.257-274.

SHRESTA, R. K; LAL, R. Matéria Orgânica em solos de Áreas Degradadas. In: SANTOS, G. A., SILVA, L. S., CANELLAS, L. P., CAMARGO, F. A. O.(Eds.) *Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: ecossistemas tropicais & subtropicais*. Porto Alegre: Metrópole, p.495-520, 2008.

VERCHOT, L.V.; DAVIDSON, E.A.; CATTÂNIO, J.H.; ACKERMAN, I.L. Land use change and biogeochemical controls of methane fluxes in soil eastern Amazonia. *Ecosystems* 3:41-56 2000.

ZIMMERMANN, D. G.; TREBIEN, D. O. P. Solos construídos em áreas mineradas como fundamento para recuperar o ambiente. In: *Revista de tecnologia e ambiente*. Universidade do Extremo Sul Catarinense. v. 7, n. 1. Criciúma: FUCR/UNESC, 2001. p. 61-103.

WWW. FAO.org.br (acessado em 25/10/2008).

