

Importância das Leguminosas Arbóreas na Recuperação de Áreas Degradadas e na Sustentabilidade de Sistemas Agroflorestais

Avílio Antônio Franco¹, Alexander Silva de Resende;
Eduardo Francia Carneiro Campello

Introdução

A família botânica Leguminosae é uma das mais importantes nos trópicos, apresentando representantes herbáceos, arbustivos e arbóreos distribuídos em mais de 650 gêneros (Polhil et al., 1981), com os mais diferentes usos (consumo humano e animal, energia, movelaria, enriquecimento do solo, etc.). Essa grande diversidade a coloca como estratégica no que diz respeito a sustentabilidade ecológica, econômica e social, principalmente no Brasil. Do ponto de vista ecológico, destaca-se sua ampla ocorrência e adaptação nos diversos biomas brasileiros. A grande competitividade dessa família é atribuída, em grande parte, a sua capacidade de se associar simbioticamente às bactérias fixadoras de nitrogênio. Essa associação pode incorporar mais de 500 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N ao sistema solo-planta, que, juntamente com o fósforo, são os nutrientes que mais limitam o estabelecimento e o desenvolvimento vegetal (Siqueira & Franco, 1988). Assim, quando essa estratégia de obtenção de nitrogênio, ocorre concomitantemente com a associação dessas plantas com fungos micorrízicos, que são capazes de aumentar a área de absorção de nutrientes pelas plantas, destacando-se aí o fósforo por sua limitação e baixa mobilidade nos solos tropicais, obtém-se, então, uma importante e eficiente estratégia para a produção de alimentos e recuperação ambiental (Franco et al., 2000).

Quando observa-se essa família pela ótica econômica, nota-se que o maior exemplo de sucesso da associação bactéria-planta é a soja (Tabela 1). Estima-se que no ano de 2003, com a produção de 52 milhões de toneladas de soja (IBGE, LSPA, 2003), a não aplicação de N nessa cultura gerou ao país uma economia de quase sete bilhões de reais. Além disso, resultados recentes sobre o balanço de nitrogênio na cultura da soja, indicam que a cultura pode obter todo o N necessário ao seu desenvolvimento da FBN e ainda deixar um saldo positivo de nitrogênio no solo, quando cultivada em sistema de plantio direto (Alves et al., 2000; Sisti et al., 2003). Associando esse benefício a não emissão de gases de efeito estufa gerados com a queima de combustíveis fósseis para preparar e aplicar o fertilizante nitrogenado, e a não poluição de lagos e rios com nitrato proveniente do fertilizante, pode-se afirmar que os ganhos ambientais e econômicos são ainda muito maiores (Macedo, 1998). Deve-se destacar ainda que resultados recentes tem demonstrado que o incremento da matéria orgânica do solo em sistemas de plantio direto, que acarreta no seqüestro de carbono, só vem sendo efetivo quando se incorpora

¹ Pesquisador, *Embrapa Agrobiologia*, BR 465, km 47, 23890-000 Seropédica, RJ.
Fone: (21)2682-1500 - Fax: (21)2682-1230. E-mail: avilio@cnpab.embrapa.br

na rotação de culturas uma espécie para fins de adubação verde que seja eficiente para FBN (Sisti et al. 2003). Estes autores destacam que para cada 10 unidades de carbono seqüestrado no solo existe a necessidade de imobilizar 1 unidade de nitrogênio, assim o seqüestro de carbono está sempre associado à disponibilidade de nitrogênio no sistema, e para tanto, espécies leguminosas eficientes para FBN são de fundamental importância.

Tabela 1. Produção, produtividade, N exportado e estimativa da economia em adubos nitrogenados na cultura da soja no Brasil. Estimativas feitas considerando que os grãos de soja contem 6% de N, que 100% do adubo nitrogenado seria incorporado nos grãos e o custo de R\$940,00 por tonelada de N na forma de uréia.

Ano	Produção de grãos (mil t)	Produtividade (kg/ha)	N exportado nos grãos (mil t)	Valor estimado (bilhões de reais)
1970	1.509	1.144	90,5	0,2
1980	15.156	1.727	909	1,9
1990	19.898	1.732	1.194	2,5
2000	32.821	2.403	1.969	4,0
2001	37.683	2.705	2.261	4,6
2002	42.020	2.571	2.526	5,3
2003	51.582	2.798	3.095	6,9

Observando essa família pela terceira ótica, a social, nota-se uma associação dos dois exemplos acima descritos. Se por um lado a família Leguminosae apresenta alta capacidade de adaptação aos mais diferentes biomas brasileiros, com seus mais distintos usos, sua associação com bactérias fixadoras de nitrogênio permite que em solos pobres em nutrientes, espécies capazes de obter significativas contribuições da fixação biológica de nitrogênio (FBN) podem se estabelecer e completar seu ciclo com bons níveis de produtividade (Urquiaga & Zapata, 2000; Resende et al., 2003). Esta situação é mais comum quando há falta de recursos para investimento ou quando o retorno econômico da cultura é tão baixo que limita o investimento em insumos. A FBN na cultura da soja tem propiciado vantagem competitiva da cultura da soja no mercado internacional, fazendo com que esta represente, na atualidade, o sustentáculo do agronegócio brasileiro, gerando um saldo na balança comercial de cerca de 7,9 bilhões de dólares, o que representa cerca de 31% do saldo da balança comercial do agronegócio brasileiro, nos últimos 12 meses (setembro de 2002 a agosto de 2003) (Mapa, 2003). No entanto, as leguminosas e a fixação biológica têm um potencial de contribuição ainda maior para a sustentabilidade da agricultura tropical, como será discutido adiante.

O Processo de Degradação Ambiental e a Matéria Orgânica do Solo

A sustentabilidade dos sistemas ecológicos tem como suporte três pilares: a biodiversidade, a ciclagem de nutrientes e o fluxo de energia. Dessa forma, para manter o solo produtivo, qualquer sistema deve incluir o maior número possível de espécies vegetais em um mesmo cultivo ou em sucessão, manter altos níveis de matéria orgânica juntamente com alta diversidade da vida no solo, e ser o mais eficiente possível na utilização de água, luz e nutrientes.

A remoção da floresta ou qualquer outra vegetação natural inicia o processo de perda de matéria orgânica do solo. A atividade agrícola com ênfase na monocultura, tem sido um fator de aceleração desta degradação, geralmente ultimada pelo uso do fogo e superpastejo. Nesta fase se inicia o processo de perda da estrutura do solo e voçorocamento. A intensidade da degradação é inversamente relacionada à presença de espécies vegetais que desempenham um papel importante na proteção contra o efeito desagregador que as gotas de chuva exercem sobre o solo.

A degradação ambiental pode se dar em diferentes níveis mas, atinge seus estágios mais avançados quando afeta o solo. A perturbação do solo, causada por ações naturais, como vento, fogo, terremoto, queda de árvores, enchentes, etc., onde a perda de matéria orgânica é baixa, pode ser revertida através da resiliência natural do sistema. Neste caso, quando há fonte de propágulos, as espécies pioneiras, como por exemplo embaúba, lacre, trema, entre outras, repovoam a área sem necessidade de adição de nutrientes e assim iniciam o processo de recuperação. Por outro lado, a degradação associada com perda de matéria orgânica é mais séria, devido à perda de nutrientes nela contidos (Campello, 1998).

Quando isto ocorre a revegetação fica condicionada à correção da deficiência destes nutrientes. O processo de recuperação consiste, inicialmente, em adicionar mais matéria orgânica do que a quantidade mineralizada. Nesta fase é importante o uso de espécies que adicionem C e N ao sistema, além de fornecer material formador de serapilheira com decomposição lenta, como o observado com *Racosperma* (ex.: *Acacia mangium*) (Froufe, 1999). No segundo momento, quando o objetivo é manter a sustentabilidade dos sistemas naturais ou dos sistemas produtivos, a taxa de adição deve ser pelo menos igual a taxa de mineralização da matéria orgânica, sincronizada com a liberação de nutrientes para atender a demanda de outras espécies, como observado com *Pseudosamanea guachapele* (Froufe, 1999), beneficiando o crescimento da espécie (eucalipto) em consórcio (Balieiro et al., 2002). Neste experimento, o eucalipto no plantio consorciado com *P. guachapele* produziu um volume de madeira (195 Mg ha^{-1}) semelhante ao plantio puro (199 Mg ha^{-1}), mesmo tendo o plantio consorciado a metade da população de plantas de eucalipto e ainda com a vantagem de ter favorecido o incremento da matéria orgânica do solo (Balieiro, 2002).

Disponibilidade dos Nutrientes para as Plantas

Dos nutrientes minerais essenciais às plantas, N, P, S e Mo têm como principal fonte a matéria orgânica do solo (Tabela 2). O nitrogênio é o mais limitante e problemático nos

sistemas produtivos, tanto assim que o uso de adubos nitrogenados foi o principal fator para o aumento da produtividade dos cereais na história recente da humanidade (Franco & Balieiro, 2000). Em contrapartida, o aumento do uso desse insumo representa grande ônus energético, ecológico, de saúde pública, financeiro e de sustentabilidade. Para a ocupação das regiões tropicais úmidas o fornecimento sustentável de nitrogênio aos sistemas produtivos passa a ter importância crucial. Em áreas degradadas, onde o teor de matéria orgânica do solo já é muito baixo, o crescimento satisfatório das plantas só é possível com a adição de grandes quantidades de composto orgânico, adição freqüente de adubos nitrogenados ou usando o nitrogênio do ar, através da FBN. Contudo, para que isso aconteça é necessário que os demais nutrientes sejam providos de forma equilibrada, e ainda considerados os demais fatores limitantes à eficiência da FBN e ao crescimento das plantas (Franco et al., 1992).

Tabela 2. Principais nutrientes minerais, disponibilidade nos solos tropicais e necessidade das plantas em sistemas naturais.

Nutrientes	Principal fonte no solo	Necessidades das plantas¹
Nitrogênio (N)	Matéria orgânica (MO)	1,5 a 4,0 %
Fósforo (P)	MO e colóides minerais	0,1 a 0,4 %
Potássio (K)	Colóides minerais e MO	1,0 a 2,5 %
Enxofre (S)	MO e intemperização de minerais	0,2 a 1,0 %
Cálcio (Ca)	Colóides minerais e MO	0,2 a 2,0 %
Magnésio (Mg)	Colóides minerais e MO	0,1 a 0,6 %
B, Cu, Fe, Mn e Zn	Colóides minerais e MO	10 a 150 mg kg ⁻¹
Mo	MO e colóides minerais	0,1 a 5 mg kg ⁻¹

¹Extraído de Chapman (1965).

O fósforo, além de pouco disponível na maioria dos solos, é o principal nutriente limitante da FBN e da produção de biomassa nos sistemas naturais tropicais (Peoples & Craswell, 1992). Sua disponibilidade também é problemática à longo prazo, principalmente em áreas de recuperação, onde os solos são geralmente muito intemperizados, constituído em sua maioria por óxidos de Fe e Al e argilas 1:1. A maior eficiência do uso de P nestas condições pode ser alcançada pela maior disponibilidade de matéria orgânica e através da simbiose que a maioria das espécies vegetais destas regiões formam com fungos micorrízicos (Siqueira & Franco, 1988; Siqueira, 1996).

As leguminosas tropicais em sua maioria nodulam e fixam nitrogênio atmosférico (Faria et al., 1999ab) e quase todas as espécies testadas se associam a fungos micorrízicos (Siqueira, 1996; Faria & Campello, 1999). A simbiose planta + bactérias diazotróficas + fungos micorrízicos adquire a capacidade de incorporar C e N ao solo, sendo mais eficientes na absorção de nutrientes e tornando-se mais tolerantes aos estresses ambientais (Franco et al., 1992, 1995, 1996; Souza & Silva, 1996; Franco & Faria, 1997; Franco & Balieiro, 2000). Desta forma, as espécies vegetais que formam estas simbioses são as mais indicadas para aumentar o conteúdo de matéria orgânica de solos degradados ou mesmo de sistemas produtivos em condições de baixa fertilidade.

O comportamento de cada espécie varia com as condições edafoclimáticas locais, por isso, se faz necessário identificar as leguminosas com capacidade de nodular e, a partir daí, formar um banco de estirpes de rizóbio mais eficientes para cada espécie (Faria et al., 1984, 1987, 1999ab, Faria & Melo, 1998; Moreira, 1991) identificando matrizes para coleta de sementes, e também avaliar a dependência micorrízica das espécies com maior potencial de uso, objetivando assim, potencializar essa associação, gerando uma importante estratégia de recuperação ambiental (Franco et al., 2000).

Equilíbrio Iônico na Rizosfera e Solubilização de Fosfatos Naturais

A nutrição nitrogenada em plantas vasculares tem efeito significativo na mudança do pH da rizosfera. Além da fonte de nitrogênio, as espécies vegetais também exercem efeito significativo sobre o controle do pH, porém a intensidade de variação depende tanto da fonte de N como da espécie vegetal (Marscher & Römheld, 1983, Raven et al., 1990). Se a principal fonte de N é o nitrato, o pH da rizosfera tende a subir, se for amônio e N-atmosférico tende a baixar, sendo que com menos intensidade nesse último caso (Raven & Smith, 1976). Quando a biomassa é retornada ao solo, a acidez produzida durante a assimilação de N é neutralizada durante a sua decomposição e não há mudança de pH do solo (Nyatsanga & Pierre, 1973), porém se a biomassa produzida é retirada, o solo se torna mais ácido (Fig. 1). Em sistemas naturais sem lixiviação, a perda de bases é mínima e o pH tende a ser estável ao longo do tempo. Nos sistemas produtivos a mudança de pH vai variar com a intensidade e qualidade do produto exportado do sistema, da fonte de N e da intensidade da lixiviação de nitrato. O N perdido por volatilização de amônia e/ou por desnitrificação não reduz o pH do solo, mas a perda de nitrato do sistema por erosão ou lixiviação sim, e por isso práticas que levem a redução destas perdas devem ser estimuladas (Nyatsanga & Pierre, 1973, Raven et al., 1990). Por outro lado, a acidificação da rizosfera pode ser usada como fator de favorecimento da solubilização de fosfatos naturais favorecendo a disponibilidade de P (Aguilar & van Diest, 1981 e Fig. 1).

Desta forma, a adubação com fosfatos naturais em conjunto com o uso de espécies fixadoras de N atmosférico representa uma forma eficiente de adição de C, N e P ao ciclo biogeoquímico do sistema solo-planta-animal. Isto pode ser observado na Tabela 3, onde *Crotalaria juncea*, apresentou crescimento e acumulação de biomassa, N e P reduzidos, quando a fonte de fósforo era o fosfato natural. Por outro lado, a mucuna preta, uma espécie que acidifica mais intensamente a rizosfera (Jesus, 1993), acumulou semelhante quantidade de matéria seca, N e P tanto com o fosfato natural como com o termofosfato. A adubação verde com mucuna, além de incorporar 318 kg de N, transferiu aproximadamente 15 kg de P de uma fonte pouco solúvel à biomassa, enquanto a crotalária foi muito menos eficiente quando a fonte de fósforo foi o fosfato de rocha (Tabela 3). Isso indica que em ambientes onde há uma baixa disponibilidade de fósforo no solo, espécies que acidifiquem a região da rizosfera com mais intensidade podem se constituir em uma importante estratégia para suprir as necessidades de fósforo do sistema de cultivo.

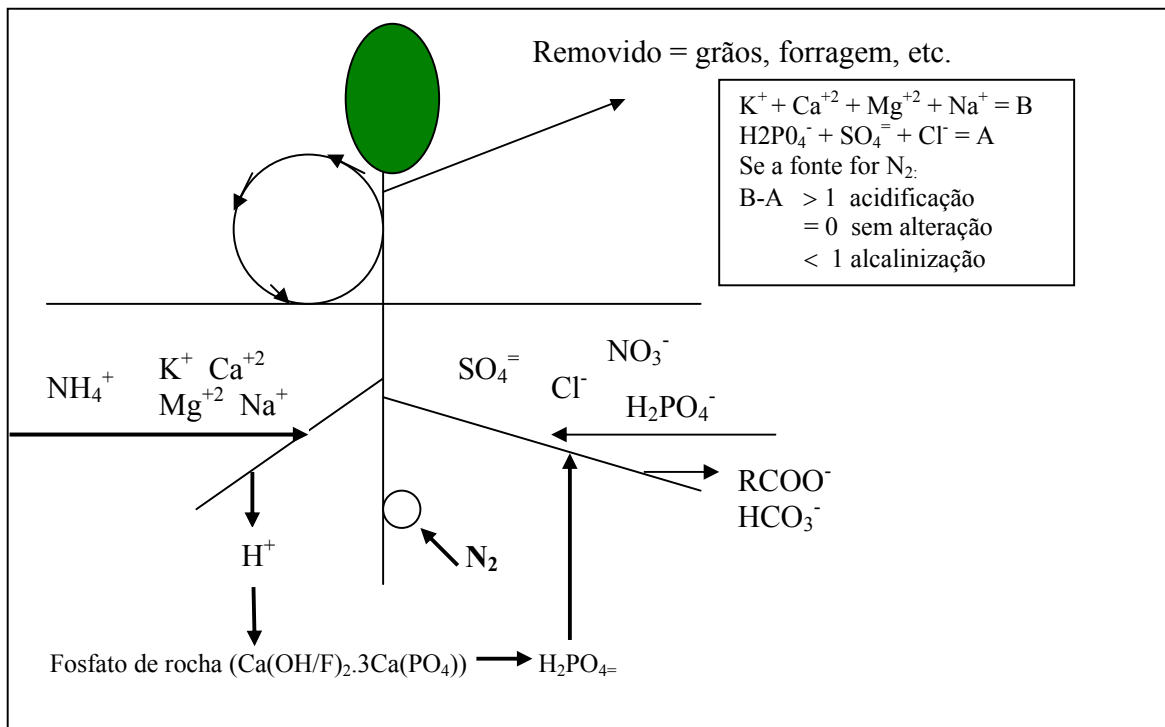


Fig. 1. Equilíbrio iônico em raízes de plantas vasculares em função das diversas fontes de N e solubilização de fosfatos naturais.

Tabela 3. Efeito da espécie vegetal na incorporação de matéria seca, fósforo e nitrogênio aos sistemas produtivos (Silva et al., 1985).

Espécie	Fonte de fósforo	Matéria seca acumulada (Mg ha ⁻¹)	N total na matéria seca (kg ha ⁻¹)	P total acumulado (kg ha ⁻¹)
<i>Crotalaria juncea</i> (Crotalária)	Fosfato natural de Patos de Minas	8,4 c ⁽¹⁾	151 c	15,7 c
	Termofosfato - IPT	16,6 a	253 b	31,7 c
<i>Mucuna aterrimum</i> (Mucuna preta)	Fosfato natural de Patos de Minas	14,0 b	318 a	35,8 ab
	Termofosfato - IPT	14,8 b	353 a	37,2 a

⁽¹⁾ Valores na mesma coluna seguidos da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Importância das Leguminosas Arbóreas Para os Sistemas Agroflorestais e a Agricultura Familiar

Sistema agroflorestal (SAF) é caracterizado pelo uso da terra visando otimizar tanto a produção agrícola quanto a florestal por meio do princípio de rendimento sustentado, baseado na presença de árvores, na interação positiva entre os diferentes componentes (arbóreo, herbáceo, arbustivo, animal, etc.), na consideração dos processos de sucessão ecológica, na eficiência da ciclagem de nutrientes e no uso de recursos naturais, na presença de espécies fixadoras de nitrogênio e na cobertura do solo e biodiversidade (Macêdo et al., 2001; Gama-Rodrigues & May, 2001; Costa, 2001).

Modelos agroflorestais que associem não somente espécies de valor comercial, mas também espécies com rápido crescimento e que possuam capacidade de obter nitrogênio do ar e simbiose com fungos micorrízicos parecem ser os mais indicados (Fernandes, 1999, 2001). Portanto, a importância das espécies arbóreas ou arbustivas, fixadoras de nitrogênio atmosférico, pode ser evidenciada por apresentarem funções produtiva e protetora. Na primeira categoria podem ser destacadas a produção de alimento, forragem, lenha e carvão, mel e vários outros produtos, como é o caso da *Acacia senegal*, principal fonte de goma arábica; *A. mearnsii* na produção de taninos; *Mimosa scabrella* como produtora de lenha, madeira e mel e *M. caesalpinifolia* como produtora de moirões, lenha, forragem e pólen. Dentre as funções protetoras podem ser destacados o controle da erosão, a estabilidade de taludes, barramentos e o aumento no estoque e qualidade da água (Kass et al., 1997, Budowski & Russo, 1997). As leguminosas fixadoras de nitrogênio fornecem material formador de serapilheira rico em N que além de melhorar a fertilidade do solo, reduz a erosão, previne a infestação de ervas daninhas e serve de substrato para melhorar a estruturação e as propriedades biológicas do solo (Dommergues et al., 1999). A quantidade de N fixado pelas espécies arbóreas varia em função das espécies e das relações bióticas e abióticas envolvidas no processo de FBN, podendo ser nula em alguns casos e extremamente alta em outros (Buck et al., 1998; Huxley, 1999; Nair et al., 1999, Franco & Balieiro, 2000). Um caso de extremo sucesso relatado na literatura é o da *Sesbania sp.*, que chegou a fixar 286 kg ha⁻¹ em 56 dias, podendo suprir assim a necessidade nitrogenada de qualquer cultura agrícola (Sanginga et al., 1995; 1996; Dommergues et al., 1999).

Além de fixar grandes quantidades de N e contribuir com aporte elevado de biomassa ao solo, estas espécies podem contribuir para a reciclagem de nutrientes de modo efetivo, uma vez que a qualidade do material aportado é geralmente superior àquela oriunda de espécies não leguminosas. Estudos recentes de Cattanio (2003) mostram que logo após adicionado ao solo, as leguminosas tendem a imobilizar nutrientes, especialmente o nitrogênio. A mobilização variou com a espécie ou incorporação no solo. O conteúdo de celulose e de polifenóis foram os fatores que mais influenciaram a mineralização de nitrogênio a curto prazo. Entretanto, em estudo de longo prazo, onde se avaliou a composição química da serapilheira produzida por plantios homogêneos de *Racosperma* (ex. *Acacia*) *mangium* e *Eucalyptus pellita* na recuperação de solo degradado pela extração de bauxita, em Porto Trombetas no Pará, foi observada a superioridade da leguminosa na produção de biomassa e retorno de N, P, K e Mg ao solo via queda de serapilheira (Dias et al., 1994). Em solos das regiões tropicais úmidas a manutenção da matéria orgânica no solo pode ser até mais importante para manter a sua produtividade

do que a liberação de nutrientes a curto prazo e possivelmente as espécies de menor taxa de decomposição serão as que mais beneficiam a sustentabilidade dos sistemas produtivos a médio e longo prazos.

A implantação de sistemas agroflorestais tem sido direcionada para locais onde os modelos tradicionais de exploração, desmatamentos seguidos pela atividade agropecuária, já exportaram muitos nutrientes, tornando-se a agrofloresta a tentativa de se gerar produtos recuperando o ambiente. A busca da maximização da resiliência potencial do ambiente a ser trabalhado deve ser almejada. Os objetivos devem ser traçados na tentativa de favorecer os mecanismos naturais que permitam a reação da natureza aos diferentes graus de perturbação. A estratégia que deverá ser seguida, em função dos níveis de degradação, começa pela identificação dos mecanismos de resposta ambiental que estarão aptos para uma pronta reação. A dinâmica das comunidades vegetais pode ser manipulada durante o processo de implantação dos sistemas agroflorestais visando melhorar o estabelecimento de espécies, acelerar o ritmo da sucessão e aumentar a diversidade biológica (Redente et al. 1993).

Os componentes naturais que atuam na sucessão e que respondem as perturbações do meio são as fontes de propágulos, os agentes de dispersão, as condições micro climáticas, a conformidade do relevo e o substrato para o estabelecimento dos ingressos vegetativos. Quando um ou mais desses fatores não se mostra em condições de reagir prontamente, o processo de resposta ambiental, como um todo, pode falhar. Neste caso, o conceito de sustentabilidade fica vulnerável e é preciso que se façam intervenções para que os mecanismos da dinâmica da sucessão natural sejam novamente ativados. Nestas circunstâncias, os sistemas agroflorestais podem se tornar uma forma de intervenção à não deixar que os processos de degradação se acentuem, permitindo à natureza ofertar uma resposta ecológica e ofertando a sociedade possibilidades de retorno da qualidade ambiental.

Em um sistema agroflorestal com base na sucessão vegetal, a longevidade da base produtiva poderá ser garantida a partir do estabelecimento dos mecanismos de regeneração natural. Quando é possível identificar plantas oriundas de espécies que não foram plantadas no sistema, passa-se a contar com processos que podem garantir a sustentabilidade. Espécies de diferentes estágios sucessionais podem surgir, sendo, portanto importante identificá-las para que sejam aproveitadas da melhor forma possível. O sistema deve ser manejado de tal maneira que as espécies pioneiras sejam aproveitadas para aportar biomassa, as secundárias e as mais tardias, de uma forma geral com maior valor madeireiro, quando for o caso, devem ser protegidas para formarem o dossel superior e posterior aproveitamento. Sem dúvida este sistema pode ser estabelecido a partir de um plantio inicial e de futuros enriquecimentos, porém o aproveitamento da resiliência e o surgimento espontâneo de plantas são ótimos indicadores de sustentabilidade, ainda mais na medida que estes passam a contribuir para uma maior diversidade florística da área. Para que estes mecanismos possam se manifestar mais intensamente, alguns fatores precisam ser adequados, pois podem interferir diretamente.

A reação da natureza as mais diversas alterações na vegetação, dá-se de forma bastante intensa, principalmente em regiões tropicais, uma vez que água e temperatura não são fatores limitantes (Nepstad et al., 1991). Contudo, em locais onde ocorre a degradação

do solo, a ausência de matéria orgânica faz com que estas apresentem baixa resiliência, ou seja, a reação ambiental para retorno as condições anteriores pode não ocorrer ou ser muito lenta (Carpanezzi et al., 1990).

A ativação sucessional passa pela contínua alteração das condições ambientais do sítio a ser recuperado. Portanto, o plantio de leguminosas arbóreas atende as necessidades de rápido estabelecimento de uma cobertura vegetal, conjugada com efeitos de maior duração como a oferta contínua de nitrogênio, aumento da população microbiana, elevada deposição de material orgânico de rápida decomposição, além de mudanças micro-ambientais, tais como sombra, retenção de umidade e redução de temperatura (Franco e Campello, 2001) (Fig. 2). Desta forma, atuando como ativadoras e reguladoras dos recursos disponíveis, e passando a permitir o surgimento de espécies mais exigentes.



Fig. 2. Sistema agroflorestal com base na sucessão vegetal tendo as leguminosas arbóreas como fonte de nutrientes via ciclagem bio-geoquímica do material orgânico manejado e depositado sobre o solo.

Resultados sobre avaliação da sucessão em reflorestamentos com 12 anos, em áreas de solo arenoso degradado em Porto Trombetas, PA, mostram que sob as parcelas de uma leguminosa fixadora exótica *Racosperma* (ex. *Acacia*) *mangium*), uma leguminosa fixadora nativa (*Sclerolobium paniculatum*), duas mirtáceas exóticas (*Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus citriodora*) e uma celastracea nativa (*Goupia glabra*), a maior riqueza de espécies nativas oriundas da regeneração natural e a maior biomassa vegetal foram encontradas sob os reflorestamentos com leguminosas fixadoras de nitrogênio (Fig. 3). Ocorrendo ainda, sob a *R. mangium*, um extrato arbóreo superior a 8 metros de altura, referente à sucessão. Cabe frisar que esta espécie não apresentou regeneração natural própria e poucos espécimes do plantio original ainda sobreviviam, o que significa que esta já havia cumprido seu papel de recuperar a resiliência permitindo a natureza reger o processo de sucessão ecológica (Campello, 1998, 1999).

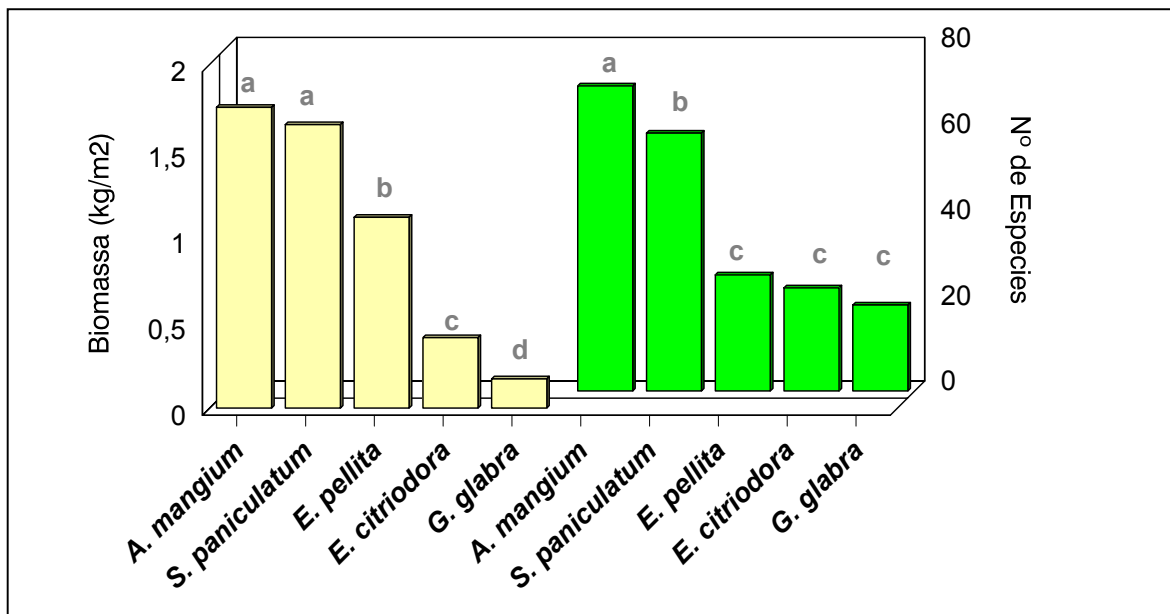


Fig. 3. Biomassa seca da parte aérea e número (riqueza) de espécies da regeneração, PA (médias de 4 repetições, barras do mesmo parâmetro, com letras iguais, não diferem entre si pelo teste de Tukey 5%).

O uso de leguminosas arbóreas em sistemas agroflorestais conjuga uma série de atributos ecológicos que podem ser identificados como serviços ambientais, uma vez que permitem um aumento da biodiversidade via regeneração natural, rápida cobertura do solo permitindo um melhor reabastecimento dos mananciais hídricos, elevada produção de biomassa vegetal e sua possível incorporação como matéria orgânica do solo, além de suprir as outras plantas, via serapilheira, com N oriundo de uma fonte não poluidora.

Importância de Leguminosas Arbóreas em Sistemas Silvopastoris

Árvores podem ser usadas tanto na arborização das pastagens como para construção de cercas com moirões vivos ou mesmo para a construção de cercas vivas, constituindo, de forma conjunta com a criação animal, sistemas silvipastoris.

Arborização de pastagens

A expansão da bovinocultura no Brasil se deu através da derrubada de grandes extensões de florestas naturais, caracterizando esta atividade pela monocultura de gramíneas, nativas e/ou cultivadas, numa pecuária extensiva, com baixa produtividade, pouco uso de mão-de-obra e, salvo raríssimas exceções, eliminando todas as árvores do sistema (Carvalho et al., 2000). Esta forma de difundir a bovinocultura no Brasil impactou a biodiversidade, pois todas as espécies antes existentes foram substituídas, muitas vezes, por somente uma espécie, e em mais de 80% dos casos por uma gramínea do gênero *Brachiaria* (Miranda et al., 1995). Com a eliminação das árvores, a exposição direta do solo às chuvas e ao pisoteio animal acarretou na alteração da estrutura do solo, na perda de sua fertilidade e diversidade de microrganismos, além do desaparecimento de muitas espécies da fauna local (Sánchez, 2000, Daniel et al., 2000). Aliado a essa brusca transformação, toda a paisagem e microclima foram alterados (Sánchez, 2000). A consequência dessa estratégia de implantação de pastagens no Brasil é que aproximadamente 60% da área coberta com pastagens do país encontra-se em algum grau de degradação (EMBRAPA-CNPAP, 1995) que, normalmente, está associada ao superpastejo, compactação do solo ou baixa disponibilidade de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo (Oliveira, 2000). Os resultados promissores de introdução de leguminosas herbáceas em pastagens (Tarré et al., 2001) esbarra no problema cultural brasileiro de falta de manejo adequado das pastagens, resultando no desaparecimento gradual das leguminosas (Cantarutti et al., 2000). Muitos trabalhos tem enfatizado o uso de leguminosas arbóreas como forrageiras e outros benefícios, tais como apresentado na Fig. 4 (Murgueitio, 1999).

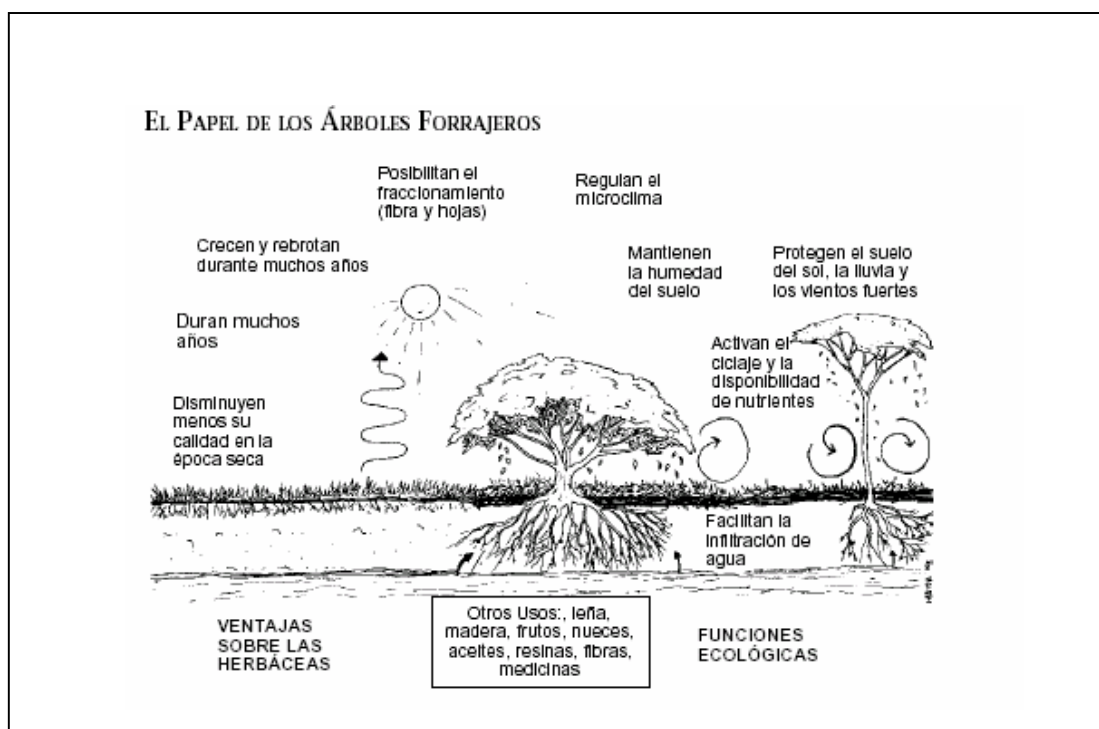


Fig. 4. Importância das leguminosas arbóreas nas pastagens (extraído de Murgueitio, 1999).

A introdução do componente arbóreo possibilitaria aos animais maior conforto térmico através da disponibilidade de áreas sombreadas, produção de forragem, principalmente no período de estiagem além do benefício da função ecológica.

Além disso, a implantação destes sistemas poderia possibilitar renda alternativa ao agricultor através da produção de madeira, lenha e outros produtos; melhoria da paisagem, mas principalmente pela melhoria na qualidade do componente herbáceo da pastagem através dos processos de transferência de nutrientes: do ar pela fixação biológica de N_2 ; do subsolo, absorvidos pelas raízes mais profundas das árvores (Carvalho et al., 1999; Carvalho et al., 2000; Botero, 2000) e de fertilizantes que podem ser estrategicamente colocados junto as árvores (Fig. 5).

Tendo em vista que os principais fatores de degradação das pastagens são o manejo e a disponibilidade de N e P, mais uma vez as leguminosas arbóreas inoculadas e micorrizadas se apresentam como importante estratégia para manutenção e recuperação de pastagens degradadas, uma vez que a biomassa das árvores têm potencial para melhorar a fertilidade do solo, aumentar a disponibilidade de nitrogênio e fósforo do solo para as forrageiras herbáceas e em alguns casos melhorar a qualidade e a quantidade da forragem produzida (Castro et al., 1999; Mahecha et al., 1999; Carvalho et al., 2000).

Carvalho et al. (1999), trabalhando com a introdução de leguminosas arbóreas em pastagens, constataram que após 4 anos a forrageira (*Brachiaria decumbens*) sob a copa das árvores apresentava-se sempre mais verde. Na Tabela 4, nota-se a forte influência

que as leguminosas arbóreas tiveram sobre o teor de proteína bruta (PB) e a maior digestibilidade *in vitro* da braquiária, tanto na época seca quanto na chuvosa.

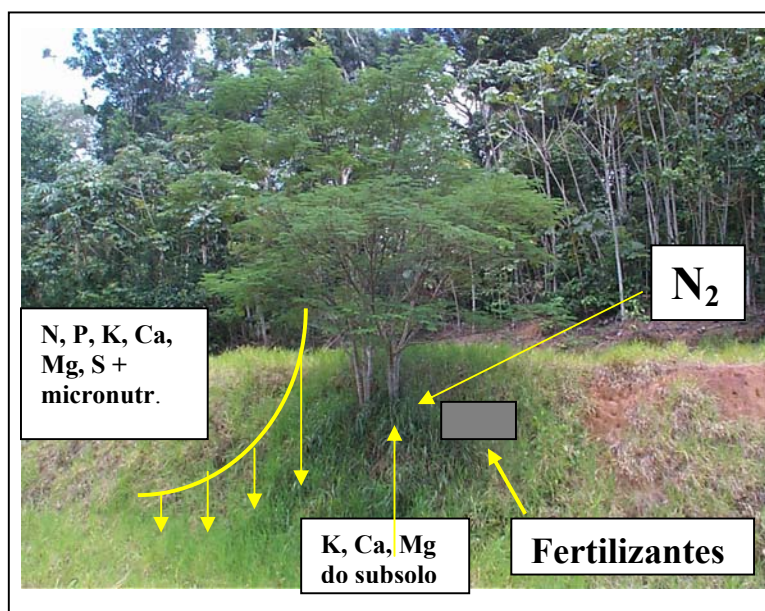


Fig. 5. Efeito de *Stryphnodendrum adstringens* (Barbatimão) crescendo em Porto Trombetas, PA no crescimento de *Brachiaria decumbens*.

Tabela 4. Efeito do sombreamento por três leguminosas arbóreas sobre a qualidade da forragem na época seca e das águas, em pastagem de *Brachiaria decumbens*.

Espécies	Tratamentos	Época seca		Época das águas		
		PB ⁽¹⁾	DIVMS ⁽²⁾	PB ⁽¹⁾	DIVMS ⁽²⁾	
		(%)				
<i>Acacia angustissima</i>	Sol	4,44 b	35,63 c	5,54 b	42,27	
	Sombra	7,50 a	45,17 ab	6,25 ab	42,12	
<i>Racosperma auriculiforme</i>	Sol	4,37 b	40,06 b	5,40 b	43,98	
	Sombra	8,81 a	50,96 a	5,82 ab	43,66	
<i>R. mangium</i>	Sol	4,37 b	34,70 c	5,39 b	43,41	
	Sombra	7,3 a	48,76 a	7,61 a	50,28	

Fonte: adaptado de Carvalho et al. (2000).

⁽¹⁾PB = Proteína Bruta, ⁽²⁾DIVMS = Digestibilidade em Vitro da Matéria Seca. Médias seguidas por letras diferentes, nas colunas, diferem significativamente entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5%.

Estes valores comprovam que além de aumentar o teor de proteína da forrageira as áreas sob a copa das leguminosas também mantiveram a qualidade do material até mesmo na época seca. Nesse sentido, a melhoria na qualidade da pastagem através do aproveitamento da serapilheira depositada pelas leguminosas, aumentando principalmente seus teores de N, e conseqüentemente de proteínas, acaba melhorando a qualidade da forragem em oferta (Carvalho et al., 2000).

Estes dados mais o efeito visual observado na Figura 5, demonstram o potencial que árvores fixadoras de nitrogênio podem ter na produção e qualidade da forrageira herbácea. Desta forma o componente arbóreo na pastagem pode ser visto não necessariamente para uso da árvore como forragem, mas principalmente como fator de aumento de produção das pastagens pelo aumento da produção do componente herbáceo. Isto ajuda a resolver o maior entrave da introdução e manejo de espécies arbóreas para aumento da produção das pastagens. Na prática, a conversão das pastagens tradicionais em sistemas silvipastoris, necessitam de métodos inovadores de introdução destas árvores sem haver a necessidade de indisponibilização temporária da pastagem para o gado ou utilização de proteções físicas para implantação das mudas, o que encarece e dificulta a conversão. Dias (tese de doutorado em andamento), trabalhando com a introdução de 16 espécies de leguminosas arbóreas em pastagens formadas em Serópedica, RJ, manejadas em sistema rotacionado, observou que *Mimosa tenuiflora*, *Mimosa artemisiana* e *Acacia holosericea*, sem proteção, apresentaram capacidade de estabelecimento em pastagens mesmo na presença dos animais, com taxa de sobrevivência superior a 90% após 3 anos de implantação. A justificativa para tamanho sucesso é que as duas primeiras espécies apresentam acúleos e/ou espinhos que repelem o pastejo pelo animal e a terceira, apresenta alto conteúdo de polifenóis (Costa, 1998), o que se reflete em baixa palatabilidade e conseqüentemente se torna pouco atrativa para o consumo. Assim, o papel das árvores nas pastagens pode ser desde a proteção do solo contra os efeitos diretos do sol, chuva e ventos fortes, passando pela ciclagem e disponibilidade de nutrientes, mantendo a umidade e favorecendo a infiltração de água no solo, como também favorecendo a qualidade e muitas vezes a quantidade de forragem ofertada, reduzindo a queda na qualidade da forragem na época seca, como também possibilitando maior conforto térmico aos animais e ainda possibilitando outros usos como lenha, carvão, madeira, etc. Uma composição com espécies com diversas morfologias de copa e distribuição de raízes pode aumentar ainda mais a eficiência do sistema.

Cercas vivas e moirões vivos

Cercas vivas podem ser construídas com várias espécies leguminosas e não leguminosas. Entre as várias leguminosas, caliandra (*Caliandra* spp.) e sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia*) têm recebido maior atenção. A sabiá, também conhecida como sansão do campo, tem grande tolerância aos períodos longos de estiagem mas não aos climas muito quentes com intermitência de veranicos como ocorre em algumas regiões da Amazônia. Apresenta plantas com acúleos (tipo espinho de roseira) ao longo do caule e ramos mas também ocorrem formas sem acúleos, de controle genético recessivo. A presença de acúleos é aparentemente indesejável pois dificulta o manejo, entretanto a presença de acúleos representa uma adaptação das plantas perderem menos água

quando crescendo em regiões com déficit hídrico e serve também para proteger o caule do ataque de animais, especialmente dos caprinos. A sabiá tem várias características favoráveis para sua utilização em sistemas produtivos e reabilitação de áreas degradadas. Produz madeira dura de boa qualidade para estacas, moirões, postes e produção de energia (carvão e lenha). Moirões de sabiá podem ser cortados após 6 a 7 anos do plantio, com durabilidade de 15 a 20 anos sem tratamento químico. Apresenta rebrota abundante, tolerando cortes drásticos, fogo e pastejo. Por isso e por apresentar muitas brotações laterais é indicada para construção de cercas vivas. A presença de acúleos também é fator importante no sucesso de cercas preventivas.

Para a construção de cercas vivas com sabiá as sementes podem ser plantadas diretamente no campo, na base de 10 sementes por metro linear a 2 cm de profundidade, aplicando 200g de fosfato de rocha por metro linear de plantio. Um ano após o plantio no campo as plantas já podem ser podadas de acordo com o formato que se queira dar (Fig. 6 A). A otimização de uso da área pode ser obtida combinando o uso de cerca viva de sabiá com plantio de uma madeira de alto valor comercial (Fig. 6 A e B).



Fig. 6. (A) Cerca viva de *Caliandra surinamensis* Km 47, RJ; (B) Cerca viva de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* com teca (*Tectona grandis*) intercalada em Miracema, RJ.

Além das cercas vivas as leguminosas se prestam para uso como moirões vivos. Espécies do gênero *Erythrina* com várias espécies ocorrendo no Brasil e de *Gliricidia*, que tem como centro de origem a América Central apresentam estacas que enraízam com facilidade e favorecem o uso como moirão vivo (Maradei & Franco, 2000) (Fig. 7).



Fig. 7. Cerca com moirão vivo de *Erythrina poeppigiana* com dois anos (A) e de *Gliricidia sepium* com 9 anos (B).

Perspectivas futuras

O setor agropecuário no Brasil representa cerca de 7,8% do PIB do País (IBGE - Sistema de Contas Nacionais, 2003), ocupando mais de 13,8 milhões de pessoas (23% do total). No entanto, a remuneração *per capita* da atividade em 1999, foi de R\$ 724,00, enquanto nas demais atividades produtivas (indústria, comércio, serviços, etc.) foi de R\$ 6.168,00 (IBGE - Sistema de Contas Nacionais, 2003). Esses números refletem a realidade do agricultor brasileiro, em especial o pequeno, que é afetado pela baixa remuneração da atividade agropecuária, uma vez que essa se caracteriza pelo pequeno valor agregado, quando comparada às demais atividades do setor produtivo. A intensificação do uso da fixação biológica de nitrogênio, incluindo-se aí as leguminosas arbóreas, poderá ajudar a reverter o quadro de degradação ambiental (Fig. 8) em áreas onde predomina a prática da agricultura familiar, que diferentemente da patronal, não vem sendo capaz de sequer, manter as necessidades mínimas de subsistência e qualidade de vida para que o homem do campo não tenha a necessidade de migrar para as grandes cidades, em busca de melhores oportunidades. Os sistemas agroflorestais tem importância na sustentabilidade ambiental e na geração de serviços ambientais fundamentais para o bem estar geral da sociedade. A sustentabilidade econômica dos sistemas agroflorestais, nem sempre tem sido suficiente para atrair, principalmente os jovens, para ocupação dos espaços rurais, uma vez que a remuneração agrícola é muito inferior à remuneração obtida nas grandes cidades. Desta forma, além da venda dos

produtos agropecuários é possível que a única saída para a ocupação do espaço rural seja a venda de serviços ambientais, que em última instância funcionaria como um fator de equidade, para corrigir as distorções entre os preços recebidos pelos agricultores e os pagos pelo consumidor final e, assim, estimular a fixação do homem no campo. No passado o poder público, de uma maneira generalizada, permitiu a exploração dos recursos naturais de forma que fossem considerados bens de baixo custo ou de livre acesso. Com isto o capital privado excluiu estes fatores dos custos de produção, sem levar em conta o custo social de seu uso ou ainda reservassem uma parte do capital para a manutenção e conservação dos recursos naturais que geram os serviços ambientais. Em função disto, os recursos naturais foram manejados de maneira ineficiente em relação aos processos ecológicos que sustentam a vida, com efeitos sociais negativos e, agora, precisam ser recuperados para que se possa obter um desenvolvimento sustentável e para tanto estes serviços ambientais precisam ser pagos por toda a sociedade para aqueles que os produzem (Roscoe, 2003; Guevara & Luna, 2002). Para tanto, o uso da FBN através de leguminosas arbóreas se mostra como um conjunto de técnicas de fundamental importância para garantir um manejo mais sustentável do sistema e, ainda, possibilitando melhores condições de vida no campo.

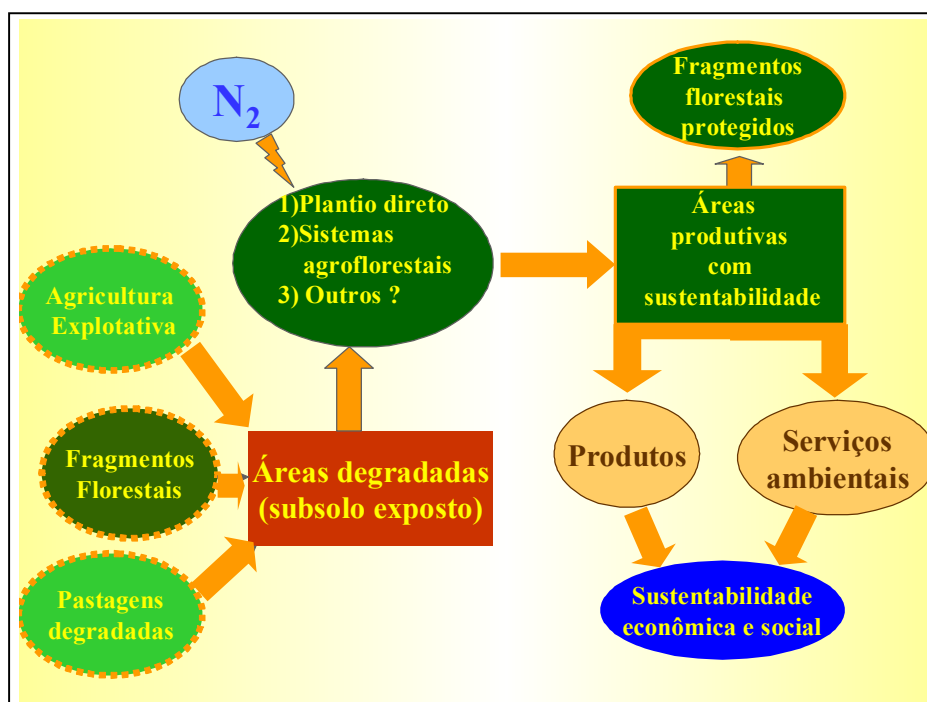


Fig. 8. Importância da fixação biológica de nitrogênio na recuperação ambiental e sustentabilidade dos sistemas produtivos.

Agradecimentos

Ao CNPq e FAPERJ pelo apoio financeiro às pesquisas.

Referências Bibliográficas

AGUILAR, S. A.; VAN DIEST, A. Rock-phosphate mobilization induced by the alkaline uptake pattern of legumes utilizing symbiotically fixed nitrogen. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 61, p. 27-42, 1981.

ALVES, B. J. R.; ZOTARELLI, L.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. 2000. Transformações do nitrogênio em rotações de culturas sob sistema plantio direto. IN: Workshop nitrogênio na sustentabilidade de sistemas intensivos de produção agropecuária. Eds. Mercante F.M. Dourados, MS. Pags 9-31.

BALIEIRO, F. C. Dinâmica de nutrientes e da água em plantios puros e consorciado de *Pseudosamanea guachapele* Harm (Kunth) e *Eucalyptus grandis* W. Hill ex. Maiden. 2002. 130 p. Tese Doutorado - UFRRJ, Seropédica, RJ.

BALIEIRO, F. C.; FRANCO, A. A.; FONTES, R. L. F.; DIAS, L. E.; CAMPELLO, E. F. C.; FARIA, S. M. Accumulation and distribution of above ground biomass and nutrients under pure and mixed stands of *Pseudosamanea guachapele* Dugard and *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v. 25, p. 2639-2654, 2002.

BOTERO, J. A. B. Contribucion de los sistemas tropicales al secuestro de carbono. In: Simpósio Internacional sobre Sistemas Agroflorestais Pecuários na América do Sul. 18-20 de setembro de 2000.

BUCK, L. E.; LASSOIE, J. P.; FERNANDES, E. C. M. Agroforestry in sustainable agricultural systems. Boca Raton: CRC, 1998. 415 p.

BUDOWSKI, G.; RUSSO, R. Nitrogen-fixing trees and nitrogen fixation in sustainable agriculture: research challenges. *Soil Biol. and Bioch.*, Oxford, v.29, p 767-770, 1997

CAMPELLO, E. F. C. 1998. Sucessão vegetal na recuperação de áreas degradadas. Pg. 183 – 196 In: Dias, L. E. e Mello, J. W. V. (eds).Recuperação de áreas degradadas. UFV, Viçosa, 251pg. 1998.

CAMPELLO, E. F. C. 1999. A influência de leguminosas arbóreas fixadoras de nitrogênio na sucessão vegetal em áreas degradadas na Amazônia. Viçosa:UFV, 121p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa.

CANTARUTTI, R. B., R. M. TARRÉ, R. O. MACEDO, G. CADISCH, C. P. REZENDE, J. C. PEREIRA, J. M. BRAGA, J. A. GOMIDE, E. FERREIRA, B. J. R. ALVES, S. URQUIAGA, AND R. M. BODDEY. 2000. The effect of grazing intensity and the presence of a forage legume on nitrogen dynamics in *Brachiaria* pastures in Atlantic forest region of the south of Bahia, Brazil. In *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, no. 64, 257-271. Dordrecht.

CARPANEZZI, A. A.; COSTA, L. G. S.; KAGEYAMA, P. Y.; CASTRO, C. F. A. Espécies pioneiras para recuperação de áreas degradadas: observações de laboratórios naturais In: Congresso Florestal Brasileiro, 6º, Campos do Jordão, 1990. Anais, São Paulo, Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1990. p. 216-21.

CARVALHO M. M.; XAVIER D. F.; ALVIM, M. J. Uso de leguminosas arbóreas na recuperação e sustentabilidade de pastagens cultivadas. In: Simpósio Internacional sobre Sistemas Agroflorestais Pecuários na América do Sul. 18-20 de setembro de 2000.

CARVALHO, M. M.; BARROS, J. C.; XAVIER, D. F.; FREITAS, V. P.; AROEIRA, L. J. M. Composición química del forraje de *Brachiaria decumbens* asociada con tres especies de leguminosas arbóreas. In: SEMINARIO INTERNACIONAL SOBRE SISTEMAS AGROPECUARIOS SOSTENIBLES, 6, 1999, Cali. Memórias ... Cali: CIPAV, 1 CD-ROM.

CASTRO, C. R. T.; GARCIA, R.; CARVALHO, M. M.; COUTO, L. 1999. Produção forrageira de gramíneas cultivadas sob luminosidade reduzida. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, 28 (5): 919-927.

CATTANIO J. H. Soil N mineralization dynamics as affected by pure and mixed application of leafy material from leguminous trees used in planted fallow in Brazil. Tese de doutorado. Universidade Göttingen – Alemanha. 2002.

CHAPMAN, H. D. Diagnostic criteria for plants and soils. Riverside: H.D. Chapman, 1965. 793 p.

COSTA F. A. Desenvolvimento sustentável na Amazônia: o papel estratégico dos SAFs, seus gestores e produtores. In: III Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais manejando a biodiversidade e compondo a paisagem rural. Eds: Macêdo J.L.V. et al 21-25 de nov. 2000. Manaus AM. Documento 17 Embrapa Amazônia Ocidental. 168-192p 2001.

DANIEL, O.; PASSOS, C. A. M.; COUT, L. Sistemas agroflorestais silvipastoris e agrissilvipastoris) na região Centro-Oeste do Brasil: Potencialidades, estado atual da pesquisa e da adoção de tecnologia. In: Simpósio Internacional sobre Sistemas Agroflorestais Pecuários na América do Sul. 18-20 de setembro de 2000.

DIAS, L. E.; FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F. C. Dinâmica de matéria orgânica e de nutrientes em solo degradado pela extração de bauxita e cultivado com *Acacia mangium* e *Eucalyptus pellita*. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO E SIMPÓSIO NACIONAL DE

DOMMARGUES, Y.; DUHOUX, E.; DIEM, H. G. Les Arbres fixateurs d'azote – caractéristiques fondamentales et rôle dans l'aménagement des écosystèmes méditerranéens et tropicaux avec référence particulière aux zones subhumides et arides. Rome: CIRAD, 1999. 499 p.

EMBRAPA-CNPAF. Programa de recuperação de pastagens degradadas no cerrado brasileiro: Sistema agropastoril auto-sustentável. Goiânia: EMBRAPA-CNPAF, 1995. 26p. (EMBRAPA-CNPAF; EMBRAPA-CNPGC, Documentos, 59).

FARIA, S. M. de; CAMPELLO, E. F. C. Algumas leguminosas fixadoras de nitrogênio recomendadas para áreas degradadas. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 1999. 4p. (Embrapa-CNPAB. Recomendação Técnica, 7).

FARIA, S. M. de; FRANCO, A. A.; JESUS, R. M. de; MENANDRO, M. S.; BAITELLO, J. R.; MUCCI, E. S. P.; DÖBEREINER, J.; SPRENT, J. I. New nodulating legume trees from South-East Brazil. *New Phytologist*, Oxford, v. 98, p. 317-328, 1984.

FARIA, S. M. de; LEWIS, G. P.; SPRENT, J. I.; SUTHERLAND, J. M. Occurrence of nodulation in the leguminosae. *New Phytologist*, Oxford, v. 111, p. 607-619, 1999b.

FARIA, S. M. de; LIMA, H. C. de; FRANCO, A. A.; MUCCI, E. S. F.; SPRENT, J. I. Nodulation of legume trees from south East Brazil. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 99, p. 347-356, 1987.

FARIA, S. M. de; MELO, R. B. Obtenção de estirpes de rizóbio eficientes na fixação biológica de nitrogênio para espécies florestais (Aproximação 1998). Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 1998. 4 p. (Embrapa-CNPAB. Recomendação Técnica, 3).

FARIA, S. M. de; OLIVARES, F. L. de; LIMA, H. C.; MELO, R. B.; XAVIER, R. Nodulação em espécies florestais, especificidade hospedeira e as implicações na sistemática de Leguminosae. In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; CARVALHO, J. G., (Ed.). Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas. Viçosa: SBCS; Lavras: UFLA/DCS, 1999a. p. 667-686.

FERNANDES E. C. M. Agrofloresta: Aproveitamento agroecológico visando a paisagens resilientes e produtivas. In: III Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais: manejando a biodiversidade e compondo a paisagem rural. Eds: Macêdo J.L.V. et al. 21 a 25 de novembro de 2000. Manaus, A.M. Documento 17 Embrapa Amazônia Ocidental. 76-102p. 2001.

FERNANDES, E. C. M., (Ed.). Agroforestry in sustainable agricultural systems. Boca Raton: CRC, 1999. p. 1-32. .

FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F. C.; DIAS, L. E.; FARIA, S. M. de. Uso de leguminosas associadas a microrganismos na revegetação de áreas de mineração de bauxita em Porto Trombetas-PA. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 1996. 69 p. (EMBRAPA-CNPAB. Documentos, 27).

- FRANCO, A. A.; BALIEIRO, F. de C. The Role of biological nitrogen fixation in land reclamation, agroecology and sustainability of tropical agriculture. In: ROCHA-MIRANDA, C. E., (Ed.). Transition to global sustainability: The contribution of Brazilian science. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2000. p. 209-234.
- FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F. C.; FARIA, S. M. de; DIAS, L. E. The Importance of biological nitrogen fixation on land rehabilitation. In: PEDROSA, F. O.; HUNGRIA, M.; YATES, G.; NEWTON, W. E., (Ed.). Nitrogen fixation: from molecules to crop productivity. Dordrecht: Kluwer, 2000. p. 569-570.
- FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F. C.; SILVA, E. M. R. da; FARIA, S. M. de. Revegetação de solos degradados. Seropédica: EMBRAPA-CNPBS, 1992. 11p. (EMBRAPA-CNPBS. Comunicado Técnico, 9).
- FRANCO, A. A.; FARIA, S. M. de. The Contribution of N₂-fixing tree legumes to land reclamation and sustainability in the tropics. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford,
- FRANCO, A. A., CAMPELLO, E. F. C. 2001. Utilização de leguminosas em cercas e moirões vivos e na recuperação de áreas degradadas. In: Minas Leite 3^o, Juiz de Fora. Sustentabilidade de Sistemas de Produção de Leite a Pasto e em Confinamento, Embrapa Gado de Leite, v. 1, p. 109-126.
- FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F. C.; DIAS, L. E.; FARIA, S. M. Use of nodulated and micorrhizal legume trees of revegetation of residues from bauxite mining. In: INTERNATIONAL SIMPOSIUM ON SUSTAINABLE AGRICULTURE FOR THE TROPICS - THE ROLE OF BIOLOGICAL NITROGEN FIXATION, 1995, Angra dos Reis. Abstracts... Rio de Janeiro: Embrapa-CNPAB; UFRRJ; The Brazilian Academy of Sciences, 1995. p. 80-81.
- FROUFE, L. C. M. Decomposição de serapilheira e aporte de nutrientes em plantios puros e consorciados de *Eucalyptus grandis* Maidem, *Pseudosamanea guachapele* Dugand e *Acacia mangium* Wild. 1999. 73 p. Dissertação(Mestrado) - UFRRJ, Seropédica, RJ.
- GAMA-RODRIGUES, A.C.; MAY, P. SAF e o planejamento do uso da terra: experiência na região norte-fluminense-RJ. In: III Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais: manejando a biodiversidade e compondo a paisagem rural. Eds: Macêdo J.LV. et al. 21-25 de nov 2000. Manaus AM. Documento 17 Embrapa Amazônia Ocidental. p. 130-136, 2001
- GUEVARA, R.; LUNA, M. 2002. Aplicaciones metodológicas de valoración económica de bienes y servicios ambientales derivados de bosques naturales y sistemas agroforestales In: Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais 4^o, Ilhéus, Anais, Bahia, Cd-rom.
- HUXLEY, P. Tropical agroforestry. Oxford: Blackwell Science, 1999. 371p.

IBGE - LEVANTAMENTO SISTEMÁTICO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA. RIO DE Janeiro, agosto de 2003. Disponível no site: www.ibge.gov.br

IBGE - SISTEMA DE CONTAS NACIONAIS - Tabela de Recursos e Usos 1999-2001. Rio de Janeiro, p. 1-152. 2003.

JESUS, E. L. de. Seleção de leguminosas para adubação com maior capacidade de acidificação da rizosfera. 1993. 123 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, na área de Ciência do Solo) - UFRRJ, Seropédica, RJ.

KASS, D. C. L.; SYLVESTER-BRADLEY, R.; NYGREN, P. The Role of nitrogen fixation and nutrient supply in some agroforestry systems of the Americas. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 29, p. 775-785, 1997.

MACEDO I. C. (1998) Greenhouse gas emissions and energy balances in Bio-Ethanol production and utilization in Brazil. *Biomass and Bioenergy*, vol. 14., n. 1, p. 77-81.

MACÊDO, J. L. V., WANDELLI, E. V.; SILVA JÚNIOR, J. P. Sistemas agroflorestais: manejando a biodiversidade e compondo a paisagem rural. In: III Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais: manejando a biodiversidade e compondo a paisagem rural. Eds: MACÊDO J. L. V. et al. 21 a 25 de novembro de 2000. Manaus, AM. Documento 17 Embrapa Amazônia Ocidental. p. 13-16. 2001.

MAHECHA, LILIANA; ROSALES, M.; MOLINA, C. H. y MOLINA, E. J. 1999. Un sistema silvopastoril de *Leucaena leucocephala* - *Cynodon plectostachyus* - *Prosopis juliflora* en el Valle del Cauca, Colombia. En: Sánchez, M.D. y Rosales, M. Agroforestería para la producción animal en América Latina. Memorias de la I conferencia electrónica. FAO, Roma, p. 407-419.

MAPA - Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Disponível na internet www.agricultura.gov.br. acesso em setembro de 2003.

MARADEI, M.; FRANCO, A. A. 2000. Avaliação de dez espécies do gênero *Erythrina* no Rio de Janeiro, para uso como moirão vivo. *Rev. Agronomia*. 34(1/2)26-30.

MARSCHER, H.; RÖMHELD, V. In Vivo measurement of root-induced pH changes at the soil-root interface: effect of plant species and nitrogen source. *Zeitschrift fur Pflanzenernahrung und Bodenkunde*, v. 111, p.241-251, 1983.

MIRANDA, C. H. B.; MACEDO, M. C. M.; ZANELA, C. Produção e conteúdo mineral de *Brachiaria decumbens*, *Calopogonium muconoides* e *Centrosema acutifolium* cultivadas em diferentes densidades de plantas em consorciação. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 32, Brasília. *Anais...* Brasília: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1995. p.102-104.

MOREIRA, F. M. de. Caracterização de estirpe de rizóbio isoladas de espécies florestais pertencentes a diversos grupos de divergência de Leguminosae introduzidas ou nativas

da Amazônia e Mata Atlântica. 1991. 156 p. Tese(Doutorado) - UFRRJ, Seropédica, RJ.

MURGUEITIO, E. 1999. Sistemas agroforestales para la producción ganadera en Colombia. Memorias del I Congreso Latinoamericano de agroforestería para la producción animal sostenible. Cali 25-27 octubre 1999. Cali (versión electrónica: <http://www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/>

AGRICULT/AGA/AGAP/FRG/AFRIS/ espanol/Document/ AGROF99/Memorias.htm)

NAIR, P. K. R.; BURESH, R. J.; MUGENDI, D. N.; LATT, C. R. Nutrient cycling in tropical agroforestry systems: myths and science. In: BUCK, L. E.; LASSOIE, J. P.; NEPSTAD, D.C.; UHL, S.; SERRÃO, E.S. Recuperation of a degraded Amazonian landscape: forest recovery and agricultural restoration. *Ambio*, 20 (4) : 248-55. 1991.

NYATSANGA, T.; PIERRE, W. H. Effect of nitrogen fixation by legumes on soil acidity. *Agronomy Journal*, Madison, v. 65, p. 936-940, 1973.

OLIVEIRA, O. C. Parâmetros Químicos e Biológicos Relacionados com a Degradação de Pastagens de *Brachiaria* spp. no Cerrado Brasileiro. Tese de doutorado UFRRJ. 2000.

PEOPLES, M. B.; CRASWELL, E. T. Biological nitrogen fixation: investments, expectations and actual contributions to agriculture. *Plant and Soil*, Dordrecht, v.141, p.13-39, 1992.

POLHILL, R. M.; RAVEN P.H., STIRTON, C. H. Evolution and systematics of the Leguminosae. In: *Advances in Legume Systematics*, ed. Polhil L.M.& Raven, P.H. 1-26p. 1981.

RAVEN, J. A.; SMITH, F. A. Nitrogen assimilation and transport in vascular land plants in relation to intracellular pH regulation. *New Phytologist*, Oxford, v. 76, p. 415-431, 1976.

RAVEN, J. A.; FRANCO, A. A.; JESUS, E. L. de; JACOB-NETO, J. H⁺ extrusion and organic acid synthesis in N₂-fixing symbioses involving vascular plants. *New Phytologist*, Oxford, v. 114, p. 369-389, 1990.

RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2., Foz do Iguaçu, 1994. **Anais...** Foz do Iguaçu, s.ed., 1994. p. 145-153.

REDENTE, E. F.; McLENDON, T.; DePUIT, E.J. Manipulation of vegetation community dynamics for degraded land rehabilitation. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA FLORESTAL, 1^o, Belo Horizonte, 1993. **Anais**, Viçosa, Minas Gerais, Sociedade de Investigações Florestais, 1993. p. 265-278.

RESENDE, A. S., XAVIER, R. P., QUESADA, D. M., URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Use of Green manures in Increase inputs of Biological nitrogen fixation

to sugar cane. *Biology and Fertility of Soils, Estados Unidos*, v. 37, p. 215-220, 2003.

ROSCOE, R. 2003. Rediscutindo o papel dos ecossistemas terrestres no seqüestro de carbono. *Cad. Ciên. Tecnol.*, Brasília 20 (2): 209-223.

SÁNCHEZ M.D. Panorama de los sistemas agroforestales pecuarios en America Latina. In: *Simpósio Internacional sobre Sistemas Agroflorestais Pecuários na América do Sul*. 18-20 de setembro de 2000.

SANGINGA, N.; DANSO, S. K. A.; ZAPATA, F. Field measurements of nitrogen fixation in leguminous trees used in agroforestry systems: influence of ¹⁵N-labeling approaches and reference trees. *Biology and Fertility of Soils, Berlin*, v. 23, p. 26-32, 1996.

SANGINGA, N.; DANSO, S. K. A.; ZAPATA, F.; BOWEN, G. D. Phosphorus requirements and nitrogen accumulation by N₂-fixing and non-N₂-fixing leguminous trees growing in low P soils. *Biology and Fertility of Soils, Berlin*, v. 20, p. 205-211, 1995.

SILVA, E. M. R. da; ALMEIDA, D. L. de; FRANCO, A. A.; DOBEREINER, J. Adubação verde no aproveitamento de fosfato em solo ácido. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 9, p. 85-88, 1985.

SIQUEIRA, J. O. Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas. Lavras: UFLA/DCS e DCF, 1996. 290p.

SIQUEIRA, J. O.; FRANCO, A. A. *Biotechnology do solo: Fundamentos e perspectivas*. Brasília: MEC/ESAL/FAEPE/ABEAS, 1988. 236p.

SISTI, C. P. J.; SANTS, H. P.; KOCHHANN, R.; ALVES, B.J.R., URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. 2003. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. *Soil and Tillage Research* (accepted).

SOUZA, F. A. de; SILVA, E. M. R. da. Micorrizas arbusculares na revegetação de áreas degradadas. In: SIQUEIRA, J. O., (Ed.). *Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas*. Lavras: UFLA/DCS e DCF, 1996. p. 255-290.

TARRE, R.; MACEDO, R. B. CANTARUTTI; C. D. REZENDE, J. M. PEREIRA; E. FERREIRA; B. J. R. ALVES; S. URQUIAGA, AND R. M. BODDEY. The effect of the presence of a forage legume on nitrogen and carbon levels in soils under *Brachiaria* pastures in the Atlantic forest region of the South of Bahia, Brazil. *Plant and Soil*, no. 1, 234:15-26. Dordrecht 2001.

URQUIAGA, S.; ZAPATA, F. 2000. Manejo eficiente de la fertilización nitrogenada de cultivos anuales en América Latina y el Caribe. Porto Alegre: Ed. Gênese. 110p. v. 29, p. 897-903, 1997.

VON CARLOWITZ, P.G. Multipurpose trees and shrubs – sources of seeds and inoculants. ICRAF, Nairobi, Kenya. 328p 1991.