

Capítulo 10

Adubação verde na recuperação de solos degradados

Luís Carlos Hernani
Milton Parron Padovan

Introdução

O processo de degradação de um sítio geográfico tem início, em geral, com a destruição e a remoção da flora e da fauna originalmente existentes, o que proporciona diferentes intensidades de desequilíbrio ao meio. O solo é muito importante para o equilíbrio ambiental em face de sua influência na qualidade, especialmente da biosfera e da atmosfera.

Segundo Doran e Parkin (1994), a qualidade do solo está relacionada à capacidade desse recurso natural promover a sanidade animal e a vegetal e sustentar a produtividade e a qualidade ambiental. Com a remoção da vegetação, os solos ficam expostos aos efeitos do sol, da chuva e do vento. O material orgânico e a camada fértil do solo são perdidos, exportados e/ou enterrados, o que compromete a disponibilidade e a qualidade hídrica, edáfica e da biota, e induz a diferentes níveis de deterioração. Em estádios muito avançados, o ambiente local pode tornar-se estéril. A recuperação de áreas degradadas é, em outras palavras, a própria recuperação da qualidade do solo, caracterizada por ações necessárias e suficientes para que seus atributos apresentem padrões semelhantes ou superiores aos de sua condição original.

Os ecossistemas podem apresentar diferentes estágios de degradação, o que requer abordagens, tempo e recursos específicos para sua recuperação. Em vez de buscar solução única, deve-se pensar em um complexo de ações mitigadoras que, integradas, proporcionem os resultados esperados em curto, médio e longo prazos.

As plantas ocupam papel fundamental na recuperação de áreas degradadas, pois proporcionam condições propícias ao incremento da matéria orgânica do solo (MOS) e à melhoria de outros atributos do solo, tais como: agregação, aeração, infiltração, retenção de água e nutrientes; reciclagem e aporte de nutrientes; e atividade e qualidade dos organismos edáficos.

Cada espécie vegetal explora a profundidade e o volume característicos do solo e associa-se à fauna específica. Por isso, para ampliar a biodiversidade e melhorar as relações solo-planta-atmosfera, recomenda-se que, no processo de recuperação, sempre se agreguem diferentes espécies de plantas a formas de manejos conservacionistas do solo, como a rotação de culturas e o plantio direto. Nesse cenário, é possível relacionar aspectos de recuperação de solos degradados com as práticas de adubação verde e cobertura do solo.

Degradação edáfica e ambiental

A qualidade ambiental pode ser entendida como uma medida da condição relativa aos requisitos e às necessidades das espécies e dos objetivos humanos (Johnson et al., 1997) num dado local, medida essa que deve ser descrita com a ajuda de indicadores objetivos e apreendida pelos diferentes atores sociais (Sachs, 1974 citado por Sánchez, 2008). Para Sánchez (2008), a degradação ambiental é qualquer alteração adversa dos processos, funções ou componentes ambientais que caracterizam a sua qualidade; refere-se, portanto, a qualquer estado de um dado ambiente cujos indicadores denotam impacto negativo, que pode ser percebido em diferentes graus.

O solo é um recurso natural renovável, se manejado devidamente. Entretanto, conhecimentos pedológicos e edáficos mal aplicados proporcionam condições para a ocorrência da erosão hídrica acelerada, com nefastas consequências ambientais (Hernani et al., 1997, 2002; Primavesi, 2002).

Quando os solos são submetidos ao uso inadequado, sua classe e sua qualidade podem propiciar diferentes intensidades de deterioração ambiental. Alissolos, Argissolos, Cambissolos, Luvisolos e Neossolos são, em sua maioria, mais suscetíveis à erosão hídrica e a processos de degradação acelerada do que Latossolos. Tais diferenças decorrem, entre outros fatores, da posição em que se encontram na paisagem, da declividade, da profundidade efetiva, da capacidade de infiltração e drenagem e da estabilidade e agregação que esses solos apresentam. Solos originalmente mais férteis (por exemplo, Vertissolos Hidromórficos Carbonáticos), ao serem submetidos ao uso intensivo, tenderão a apresentar menores taxas de degradação se comparados a solos menos férteis (por exemplo, Neossolos Quartzarênicos Órticos latossólicos).

O uso e o manejo influenciam a qualidade do solo e, à medida que as características determinantes dessa qualidade são negativamente alteradas, o processo de degradação se estabelece (Alves, 2006). Conforme Oldeman (1994), algumas das causas da degradação de áreas agrícolas são o uso de solos inaptos, o uso insuficiente ou excessivo de fertilizantes e de água de irrigação, o uso incorreto de máquinas e equipamentos agrícolas e a ausência de práticas conservacionistas.

A degradação abrange a perda da capacidade produtiva ou do potencial de utilização econômica do solo (Blum, 1998), que é resultante da contínua interação entre solo-atmosfera-água-flora-fauna, embora a intensidade e a taxa de ocorrência dessa deterioração sejam mais fortemente influenciadas por ações antrópicas. Decisões de uso e de manejo do solo produzem efeitos imediatos na biodiversidade e nas propriedades hídricas do solo. Por isso, construções de estradas, barragens, ruas, prédios e casas, extração de minérios e instalação de aterros e lixões, entre outros, produzem, muitas vezes, impactos que requerem ações mitigadoras, com custos socioeconômico-ambientais elevados.

O processo de degradação tem início com a limpeza do terreno ou o preparo inicial do solo, caracterizado pela derrubada da floresta ou pela derrubada e queima de toda a cobertura vegetal, visando à exploração agrícola do maior espaço possível. Isso leva à consequente expulsão da fauna e à exposição do solo às intempéries e à erosão acelerada.

A vegetação protetora de margens (matas ciliares) e de cabeceiras de cursos d'água e o equilíbrio das interações entre seus componentes bióticos e abióticos têm sido intensamente degradados. Segundo Lima (2003), para a restauração dessas áreas, deve-se considerar a necessidade da integridade desse ecossistema na escala da microbacia hidrográfica.

A degradação ambiental pode ser caracterizada por suas extensão e intensidade de ocorrência (Dias; Griffith, 1998). A amplitude dos efeitos da erosão hídrica no Brasil quanto à extensão, à intensidade de ocorrência e aos custos socioeconômicos anuais diretos e indiretos para o País foi abordada por Hernani et al. (2002). Esses autores ressaltam que, em razão da pouca utilização de boas práticas agrícolas fundamentadas no conceito pleno do sistema de plantio direto (SPD), o País tem custos socioeconômicos anuais diretos e indiretos (em diversos itens, como a manutenção e a recuperação de estradas vicinais) estimados em cerca de US\$ 6,4 bilhões.

O manejo inadequado do sistema solo-planta diminui a qualidade do agroecossistema, o que resulta em ineficiência da atividade agrícola e de toda a cadeia produtiva. No processo de degradação das pastagens, Macedo et al. (2000) afirmam que as forrageiras inicialmente apresentam perda de vigor e de produtividade e queda nas habilidades de superar os efeitos nocivos de pragas, doenças e invasoras e de proteger o solo contra a erosão hídrica e a eólica. Em consequência, as plantas apresentam menor capacidade de sustentação dos níveis de produção e de qualidade dos animais, com efeitos negativos sobre toda a cadeia produtiva da bovinocultura.

Degradação e gestão do solo

Desmatamentos sem os devidos cuidados técnicos, associados a preparo convencional intensivo do solo, ausência de práticas conservacionistas integradas, emprego indiscriminado de agroquímicos, monocultura e má condução de pastagens, entre outros, têm contribuído intensamente para a degradação ambiental. Segundo Primavesi (2002), as queimadas, ainda hoje praticadas, especialmente em áreas de fronteira agrícola, têm papel relevante no processo de degradação ambiental, porque eliminam a cobertura vegetal, o que gera efeitos deletérios sobre a fauna, desprotege o solo, facilita processos erosivos com perdas de MOS e de nutrientes e queda na fertilidade.

A mais impressionante expressão da erosão hídrica é a formação de voçorocas. A mais perniciosa, e a menos ostensiva, no entanto, é a erosão laminar. A água da chuva, ao não se infiltrar no solo, não recompõe o lençol freático, mas desloca-se rapidamente sobre o terreno em direção aos corpos hídricos, o que provoca uma série de efeitos prejudiciais.

Assoreamento e perda de navegabilidade de rios, lagos e represas e inundações de áreas urbanas, com suas implicações sociais e econômicas, resultam de erosão hídrica gerada pela gestão incorreta dos recursos naturais. Ressalta-se, contudo, que entre as principais causas primárias desses desastres estão o manejo inadequado dos solos e, principalmente, a inadequada conservação das vias urbanas e rurais.

Dos desequilíbrios provocados pela erosão, um dos mais sérios é o comprometimento da quantidade e qualidade dos mananciais. Mesmo as melhores técnicas, se adotadas de forma inadequada ou parcial, podem contribuir com algum nível de contaminação da água, o que coloca em risco a premissa do desenvolvimento com sustentabilidade. Comparando sistemas de preparo para cultivo da sequência trigo (*Triticum aestivum* L.)/soja (*Glycine max* L. Merr.) quanto aos efeitos em perdas por erosão hídrica (escoamento superficial) de um Latossolo Vermelho Distroférrico, Hernani et al. (1999) concluíram que o SPD, embora proporcione perdas totais de nutrientes de plantas significativamente menores do que as do uso de gradagens pesadas e niveladoras, em razão das baixas qualidade e quantidade da cobertura vegetal do solo, propiciou maior concentração relativa de fósforo (P), em suspensão, e de cálcio (Ca), em solução, na enxurrada.

Contaminação por metais pesados

Metal pesado é o nome que se dá a um grupo heterogêneo de elementos constituído por metais, semimetals e não metais com pesos específicos $> 6,0 \text{ g cm}^{-3}$ e números atômicos > 20 (Alloway, 1995). Sabe-se que alguns desses elementos são essenciais aos seres vivos: zinco (Zn), cobre (Cu), manganês (Mn), cobalto (Co) e molibdênio (Mo); outros não: chumbo (Pb), mercúrio (Hg), cádmio (Cd), arsênio (As), titânio (Ti) e urânio (U), entre outros; todos, entretanto, em determinadas concentrações e condições ambientais, podem ser tóxicos.

No solo, a disponibilidade e a retenção de metais pesados são influenciadas pelos teores desses elementos (Basta; Tabatabai, 1992), bem como por certos atributos, tais como: pH (Alcântara; Camargo, 2001), capacidade de troca catiônica (Ziper et al., 1988), teor de MOS (Lewis; Rule, 2001) e mineralogia (Ziper et al., 1988). À medida que o pH aumenta, a disponibilidade e a solubilidade desses metais diminuem (Lindsay, 1972; Mazur, 1997). Altos teores de argila e de MOS aumentam a capacidade de reter metais catiônicos nos solos (Amaral et al., 1996).

A forma de uso do solo pode influenciar a disponibilidade de metais pesados no ambiente. O cultivo intensivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) por dezenas de anos em áreas com alta declividade, na ausência de práticas conservacionistas e com excessivo uso de agroquímicos, tem gerado contaminação de solo e água no município de Paty do Alferes, RJ. Comparando esse sistema de manejo tradicional com formas mais conservacionistas, Ramalho et al. (2000) detectaram diferenças significativas entre os sistemas quanto aos teores de Zn, Pb, níquel (Ni), Mn, Cu e Co no solo. Veiga et al. (2006), ao avaliarem a presença de organofosforados e carbamatos em 27 pontos de coleta de corpos hídricos desse município, concluíram que, em 70% desses pontos, houve

contaminação detectável com esses compostos. Aplicações intensivas de agroquímicos podem gerar concentrações tóxicas em hortaliças mesmo em sistemas melhorados de manejo de solo.

Num trabalho de avaliação da concentração de metais pesados no solo e nas vagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), em parcelas sob diferentes sistemas de preparo em um Latossolo Vermelho com 30% de declividade em Paty do Alferes, RJ, Santos et al. (2003) verificaram que, em comparação ao sistema de plantio convencional (que envolve aração com trator no sentido morro abaixo e queima dos restos vegetais), o sistema de plantio em nível por meio de tração animal e uso de cordões vegetados a cada 7,0 m e o cultivo mínimo com apenas abertura de covas para plantio e conservação dos restos culturais acumularam maiores teores de Zn, Mn, Cd e Pb no solo e Pb na vagem *in natura*, o que tornou, neste último caso, o alimento impróprio para consumo humano.

Fertilizantes ou corretivos contendo metais pesados e usados continuamente podem proporcionar contaminação. Em alguns casos, insumos alternativos também se tornam fonte de poluição edáfica. Amaral Sobrinho et al. (1992) compararam os efeitos do corretivo-resíduo Paracatu (dose de 1,0 t ha⁻¹ ano⁻¹) aos do fertilizante NPK + Zn (dose de 500 kg ha⁻¹ ano⁻¹) no aporte de metais pesados ao solo. Os autores concluíram que os insumos apresentaram efeitos semelhantes entre si em relação ao aporte de Cd e de Zn, mas, em relação ao Pb, o corretivo foi mais poluente do que o fertilizante.

É cada vez mais importante conhecer a solubilidade e a mobilidade dos elementos ou moléculas contidas em fertilizantes quando aplicados ao solo, bem como a facilidade com que tais substâncias são assimiladas ou toleradas pela fauna edáfica e seus efeitos em processos de contaminação ambiental. Num estudo com 24 diferentes materiais fertilizantes, as concentrações de elementos-traço e metais pesados diminuíram na seguinte ordem: rocha fosfatada > lodo de esgoto > fertilizante fosfatado > materiais modificados por substâncias orgânicas e calcário > fertilizantes potássicos > fertilizantes nitrogenados (Raven; Loeppert, 1997). Esses autores sugerem que os três primeiros (lodo de esgoto à frente) devem receber especial atenção em monitoramentos de qualidade ambiental.

Efeitos de adubos verdes no solo

Em termos de efeitos na qualidade ambiental, entende-se como adubo verde qualquer espécie vegetal que, cultivada em diferentes épocas do ano, solteira ou em consórcio, proporcione melhorias em um ou mais atributos do solo, da água e/ou do sistema envolvido e não cause efeito deletério ao ambiente. Os adubos verdes podem influenciar a qualidade do solo, de acordo com características específicas de cada espécie, pela ação da cobertura viva proporcionada pelo

dossel, pelos efeitos da cobertura morta resultante de resíduos da parte aérea e pela ação dos sistemas radiculares.

A cobertura vegetal (viva ou morta) proporciona: 1) dissipação de energia da chuva, o que impede o impacto direto das gotas e limita o movimento do excesso de água sobre a superfície do solo; 2) impedimento da ação direta dos raios solares, o que promove sombreamento, diminui a evaporação e proporciona condições para uma microclima favorável a todos os organismos autóctones; e 3) minimização da ação do vento, o que reduz a erosão eólica do solo.

A taxa de desenvolvimento inicial do adubo verde é importante, mas cumpre saber que quanto maior o período de cobertura, maior é a proteção ao solo e à vida nele presente. Na região serrana do Rio de Janeiro, a aveia-preta (*Avena strigosa*) e o tremoço-branco (*Lupinus albus*) cobriram o solo mais cedo do que as demais espécies avaliadas; porém, aos 79 dias após o plantio, o tremoço-branco, o feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) e o nabo-forageiro (*Raphanus sativus* var. *oleiferus*) apresentaram maiores índices de cobertura do solo do que a aveia-preta (Gouveia; Almeida, 1997). No Brasil Central, milheto (*Pennisetum glaucum*), guandu (*Cajanus cajan*), nabo-forageiro e centeio (*Secale cereale*) são algumas das espécies de rápida cobertura do solo usualmente citadas.

A quantidade de biomassa que cobre o terreno é um dos fatores que podem influenciar o teor de MOS nos primeiros centímetros do solo. Decorridos 6 anos de avaliação de sucessões de adubos verdes com milho (*Zea mays*) em plantio direto em Argissolo, Gonçalves e Ceretta (1999) concluíram que o teor de carbono (C) orgânico acumulado entre 0 e 2,5 cm de profundidade do solo dependeu da quantidade de massa seca produzida pelos sistemas de culturas; nesse caso, a sucessão tremoço-azul (*Lupinus sp.*)/milho foi o sistema mais efetivo.

Como decidir entre incorporar os resíduos ou deixá-los sobre a superfície do solo? Fischler et al. (1999), comparando os efeitos de resíduos dos consórcios *Crotalaria ochroleuca* + milho e *Crotalaria ochroleuca* + feijão mantidos sobre a superfície do solo com os incorporados, constataram que não houve diferenças entre esses tratamentos, tanto nas plantas de milho cultivado subsequentemente quanto em atributos do solo. No entanto, se forem considerados outros benefícios promovidos pela permanência da cobertura morta sobre a superfície do solo (menor evaporação, menor erosão do solo, menores taxas de decomposição da MOS, menor custo do manejo da cobertura, etc.), infere-se que essa é a decisão mais adequada.

Uma dos benefícios exercidos pelos adubos verdes é proporcionar condições para a manutenção e a melhoria da fertilidade do solo. A MOS é um dos atributos de solo que são melhorados mediante o uso dessas plantas. Com o incremento da MOS, verifica-se também a redução do alumínio (Al) trocável, que é complexado por ácidos orgânicos produzidos no processo de decomposição dos resíduos (Miyasaka et al., 2000).

Embora muitos estudos evidenciem o potencial das leguminosas na manutenção e na melhoria de atributos edáficos, é preciso ressaltar que outras tantas espécies podem promover melhorias ambientais tanto ou mais do que as leguminosas. Barni et al. (2003) apresentaram extensa contribuição ao conhecimento de espécies recicladoras e protetoras de solo para o estado do Rio Grande do Sul. Hernani et al. (1995) indicaram como adubos verdes para Mato Grosso do Sul: as leguminosas tremoço-branco e ervilhaca-peluda (*Vicia villosa*); as gramíneas aveia-preta, aveia-branca (*Avena sativa*) e centeio; e as brássicas colza tipo canola (*Brassica napus*) e nabo-forrageiro. Além disso, recomendaram que as plantas fossem manejadas com rolo-faca ou equipamento similar e deixadas sobre a superfície do terreno.

O uso de espécies bem adaptadas às condições climáticas locais, como as plantas nativas (Aguiar et al., 2000), bem como as que apresentam rápidos crescimento e desenvolvimento radicular associados ao manejo que proporcione a cobertura permanente do solo, como a semeadura direta (Alves; Suzuki, 2004), são atitudes que contribuem para a aceleração da recuperação de solos.

O cultivo de plantas para mobilizar e disponibilizar elementos químicos no solo é prática antiga. Algumas espécies de adubos verdes desenvolvem sistemas radiculares fasciculados e abundantes; outras, raízes pivotantes, que exploram profundidade e volume de solo mais amplos, transferindo nutrientes para a parte aérea. O dossel, ao ser manejado (cortado, rolado, etc.) ou passar por senescência natural, gera resíduos que se depositam sobre o solo. Com a decomposição da biomassa (parte aérea e raízes), resultante da ação da fauna edáfica e dos microrganismos, os nutrientes são liberados e disponibilizados e podem ser absorvidos pelas culturas subsequentes (Espindola et al., 1997; Padovan et al., 2006; Neves, 2007).

Além de responder pelas funções de absorção e transporte de substâncias vitais, as raízes ajudam a reter nutrientes nas camadas mais superficiais do solo. Ademais, o sistema radicular (raízes + organismos da rizosfera) constitui um dos mais importantes fatores de construção e estabilização de agregados do solo.

Espécies utilizadas como adubos verdes também desempenham papel fundamental na ciclagem de nutrientes residuais de fertilização mineral, de modo a influenciar na retenção e na manutenção desses elementos no meio em que foram aplicados e a minimizar a degradação química do solo (Aita et al., 2000). Na produção de grãos, culturas comerciais, por meio dos resíduos e sistemas radiculares, deixam quantidades significativas de nutrientes no solo. Para a produtividade de 5,0 t ha⁻¹ de grãos, o milho deixou, nos resíduos, 55,0 kg ha⁻¹ de N, 16,0 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 168,0 kg ha⁻¹ de K₂O. Na produção de 3,0 t ha⁻¹ de grãos de trigo, os resíduos deixaram 50,0 kg ha⁻¹ de N, 16,0 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 96,0 kg ha⁻¹ de K₂O. Para o rendimento de grãos de 2,5 t ha⁻¹, os resíduos da soja aportaram 63,0 kg ha⁻¹ de N, 14,0 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 44,0 kg ha⁻¹ de K₂O ao solo (Ceretta, 2006). Nesses casos, apenas os resíduos da parte aérea das plantas foram avaliados.

A magnitude do aporte de nutrientes pode ser ainda maior se for considerada a contribuição das raízes e a dos organismos associados à rizosfera dessas culturas.

Segundo Ceretta (2006), em solos do Rio Grande do Sul, tremoço-azul, chícharo (*Lathyrus sativus*) e nabo-forrageiro foram as culturas mais eficientes em concentrar e disponibilizar nitrogênio (N); ervilha, nabo e tremoço proporcionaram maiores quantidades acumuladas de P; e tremoço, chícharo e aveia-preta disponibilizaram maiores quantidades de potássio (K) ao solo (Tabela 1).

Tabela 1. Nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) acumulados por algumas plantas cultivadas durante o inverno no Rio Grande do Sul.

Espécie	Nutriente		
	N	P	K
	(kg ha ⁻¹)		
Chícharo (<i>Lathyrus sativus</i>)	107,0	12,8	114,0
Tremoço-azul (<i>Lupinus sp.</i>)	112,0	13,1	148,0
Ervilha-forrageira (<i>Pisum sativum</i>)	97,0	15,0	72,0
Ervilhaca-comum (<i>Vicia sativa</i>)	93,0	11,9	77,0
Aveia-preta (<i>Avena strigosa</i>)	61,0	10,6	86,0
Nabo-forrageiro (<i>Raphanus sativus 'oleiferus'</i>)	100,0	14,3	83,0
Plantas invasoras	25,0	5,1	32,0

Fonte: Adaptado de Ceretta (2006).

Vasconcellos e Pacheco (1987) verificaram que, para a produção de 5,1 t ha⁻¹ de biomassa, a mucuna (*Mucuna aterrima*) adicionou ao solo 118,0 kg ha⁻¹ de N, 18,0 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 79,0 kg ha⁻¹ de K₂O.

Nesse sentido, num processo de recuperação ambiental, devem ser consideradas diferentes espécies para cultivo em diferentes épocas do ano com vistas a agregar efeitos complementares e elevar a taxa de recuperação do solo.

No estado de Mato Grosso do Sul, tremoço-branco, nabo-forrageiro, centeio, aveia-preta e aveia-branca foram, das espécies estudadas, as mais eficientes em cobrir o solo no outono/inverno (Hernani et al., 1995). Outros trabalhos indicam que, desses adubos verdes, os mais promissores para compor sucessões antecedendo o milho são tremoço e nabo-forrageiro; e os recomendados como antecessores à soja e ao algodão (*Gossypium hirsutum*) são centeio, aveia-preta e aveia-branca.

Na região de Campos, RJ, das espécies avaliadas por Souza e Oliveira (1999), feijão-bravo (*Canavalia brasiliensis*), feijão-de-porco, tefrósia (*Tephrosia sp.*), centrosema (*Centrosema pubescens*)

e guandu foram as que acumularam maiores quantidades de biomassa e de nutrientes, tendo, portanto, maior potencial para a ciclagem e a melhoria da fertilidade do solo.

Ao estudarem o efeito da incorporação de resíduos orgânicos com diferentes relações C/N sobre características químicas do solo, Braccini et al. (1995) observaram aumento inicial em teor de C orgânico, soma de bases, teor de P e capacidade de troca de cátions total do solo. Entretanto, a expressão dessas melhorias pode depender de vários aspectos, como as características físicas e químicas do solo, conforme salientaram Calegari et al. (1992).

Aumentos iniciais no teor de MOS com o cultivo de adubos verdes têm sido ratificados por vários autores, entre eles Aita et al. (2000). Entretanto, leguminosas apresentam baixa relação C/N; portanto, rápida decomposição. Assim, embora promovam incrementos de nutrientes e melhorias em vários atributos químicos e biológicos, seus efeitos no teor de C não são significativos, e, muitas vezes, ao compor um esquema de rotação, a leguminosa tende a influir para que a MOS permaneça estável (Bingeman et al., 1953; Hallan; Bartholomeu, 1953).

Quanto mais avançado o estágio de degradação de uma área, menores serão os efeitos positivos imediatos, que tenderão a desaparecer mais rapidamente se as ações de manejo envolvendo adubos verdes sofrerem solução de continuidade. Portanto, num processo de recuperação ou de melhoria da qualidade do solo, é importante considerar a continuidade de ações ao longo do tempo. Quando não se prevê a utilização contínua e diversificada de espécies de adubos verdes no processo de recuperação de áreas degradadas, os resultados obtidos podem causar frustração. Alcântara et al. (2000), avaliando os efeitos de *Crotalaria juncea* e guandu na fertilidade de solo degradado aos 90, 120 e 150 dias após o corte (DAC) das leguminosas, verificaram que, na terceira avaliação (150 DAC), não se percebiam mais os benefícios concedidos pelos adubos verdes nas propriedades químicas do solo. Depois de 1 ano de cultivo, Moreti et al. (2007) observaram que a crotalária (*Crotalaria* sp.) e o milheto não proporcionaram alterações significativas em atributos químicos do solo.

Ressalte-se que os efeitos de adubos verdes podem ser mais efetivos enquanto se encontram em pleno desenvolvimento e que esses efeitos são mais duradouros em solos menos degradados. Todavia, recomenda-se manter o terreno sempre coberto com plantas em pleno desenvolvimento, adotando-se, para isso, consórcios de diferentes espécies e adequados sistemas de rotação de culturas.

Associando-se diferentes espécies de adubos verdes a outras técnicas agrícolas, podem ser obtidos benefícios ambientais a prazos longos. Depois do cultivo de consórcios individuais de feijão-de-porco, estilosantes (*Stylosanthes* sp.), crotalária e guandu com a mandioca (*Manihot esculenta*), Padovezzi et al. (2007) verificaram, por ocasião da colheita da mandioca no segundo ano, que os consórcios com feijão-de-porco, estilosantes e guandu promoveram significativos aumentos nos teores de K e de Ca na camada de 0 a 10 cm do solo em comparação com a amostragem inicial do solo. Em trabalho de 8 anos de duração, Rodrigues Filho et al. (1996), avaliando o

efeito da biomassa de mucuna-preta (*Mucuna aterrima*) e de esterco de galinha na produtividade do amendoim (*Arachis hypogea*) e na disponibilidade de nutrientes no solo, constataram que a sucessão amendoim-mucuna elevou os teores de P e de Ca e a porcentagem de saturação por bases do solo.

Utilizando as espécies *Cassia mimosoides*, *C. occidentalis*, *C. tora*, *Crotalaria juncea*, *Flemingia congesta*, *Glycine max*, *Leucaena leucocephala* e *Sesbania cannabina* em pré-cultivo ao repolho (*Brassica oleracea capitata*), Mapaona e Kitou (1994) verificaram que as leguminosas promoveram a manutenção e até mesmo a melhoria dos níveis de alguns nutrientes no solo, especialmente do N e do P, além do aumento da produtividade do repolho, a qual superou a do repolho cultivado com adubação química completa e sem cultivo de leguminosas antecedentes.

Nascimento et al. (2003), ao estudaram o efeito de 12 espécies vegetais nos atributos químicos de um Luvissole degradado, observaram que as leguminosas proporcionaram efeitos significativos sobre a fertilidade, em comparação com a testemunha, e que havia incrementos significativos de pH e de cátions, que se refletiram positivamente na capacidade de troca de cátions e no índice de saturação por bases.

Em estudo de longa duração envolvendo os consórcios videira (*Vitis vinifera*) + *Crotalaria juncea* e videira + feijão-de-porco, Faria et al. (2004) constataram que a adubação verde aumentou os teores de MOS, Ca trocável e capacidade de troca de cátions da camada de 0 a 10 cm do solo.

Avaliando diferentes arranjos do meloeiro com adubos verdes – milho sem resíduos (testemunha); mucuna-preta; milho + caupi (*Vigna unguiculata*); e sucessão crotalária (*C. juncea*) – milheto + caupi – crotalária + guandu –, Faria et al. (2007) observaram que todos os tratamentos proporcionaram aumentos nos valores de Ca e de capacidade de troca de cátions das camadas de 0 a 10 cm e de 10 cm a 20 cm do solo em relação à testemunha. O pH e o teor de magnésio (Mg) atingiram maiores valores quando, no terceiro ano, voltou-se a cultivar crotalária + guandu.

Efeitos na química do solo poderão ser obtidos de forma mais consistente se os adubos verdes forem associados à ausência de preparo do solo. No Cerrado de Minas Gerais, Oliveira (2001) avaliou o feijoeiro, em plantio direto, sobre cobertura morta de milheto, sorgo (*Sorghum bicolor*), milho, mucuna-preta e feijão-de-porco em cultivos isolados e em consórcios de gramíneas com leguminosas. Depois da colheita do feijão, o autor verificou que o pH do solo foi menor (até 10 cm de profundidade) com a sucessão feijão-milho consorciado com as leguminosas, e que os teores de P (entre 0 e 5 cm) e de K (entre 0 e 10 cm) foram superiores com o tratamento feijão-milheto em monocultivo.

Um dos desafios que se apresenta à recuperação de áreas degradadas consiste na adaptação de adubos verdes a solos de baixa fertilidade. O guandu, a aveia-preta e o tremoço-branco apresentaram elevada acumulação de fitomassa em áreas degradadas pobres em P, e, segundo Pott et al. (2007), essas plantas devem ser recomendadas para a recuperação de áreas com tais

características, com ou sem a aplicação de fertilizantes pouco solúveis (fosfatos naturais), dependendo dos níveis de P no solo.

Espécies mais rústicas cultivadas na primavera podem não responder a correções químicas ou a certas formas de manejo. Por exemplo, a adubação fosfatada e a poda controlada influenciaram a qualidade fisiológica das sementes, mas não alteraram a produção de matéria seca e de grãos de *C. juncea* (Dourado et al., 2001).

A revegetação de áreas onde todo o horizonte superficial foi removido pode ser obtida com espécies arbóreas leguminosas noduladas e micorrizadas, acrescentando-se adubação com gesso + fosfato de rocha + composto orgânico (Franco et al., 1991).

As raízes dos adubos verdes exercem grande influência na formação e na estabilidade de agregados do solo (Silva; Mielniczuk, 1997). O plantio de *Crotalaria ochroleuca* antecedendo o milho e o feijão elevou a taxa de infiltração de água (Fischler et al., 1999).

Ao aumentar os teores de MOS e promover a retenção de água, os adubos verdes induzem a estabilização da temperatura do solo (Gupta et al., 1977). Segundo Pankhurst e Lynch (1994), Padovan et al. (2006) e Neves (2007), a manutenção da cobertura vegetal contribui para a diminuição da oscilação térmica e a conservação da umidade do solo.

Além de promover o enriquecimento da camada superficial com nutrientes mediante a ciclagem e de proteger a superfície contra intempéries, os adubos verdes criam condições favoráveis ao aumento da diversidade de organismos no solo. Esses organismos decompõem os resíduos vegetais e auxiliam no controle natural de pragas e doenças de plantas. O aumento da atividade biológica influencia a reciclagem de nutrientes e contribui para a manutenção e a melhoria da fertilidade e do equilíbrio ecológico, o que resulta em maior qualidade do solo.

A atividade e a população de fungos micorrízicos arbusculares são influenciadas por espécies de adubos verdes, e, se forem adotadas práticas que diminuam o revolvimento do solo, a ciclagem de P e de outros nutrientes podem ser mais favorecidas. O número de propágulos infectivos de fungos micorrízicos arbusculares foi mais elevado em solos com os tratamentos com *C. juncea*, feijão-de-porco, mucuna-preta e vegetação espontânea do que em solo sem cobertura vegetal (Espindola et al., 1998). Os autores verificaram também que os adubos verdes promoveram aumento significativo da produtividade da batata-doce (*Ipomoea batatas*) cultivada subsequentemente em comparação com tratamentos com vegetação espontânea e parcela capinada.

Em estudo realizado por Martins et al. (1999) em casa de vegetação, a inoculação de fungos micorrízicos arbusculares nativos em solo de Cerrado de áreas degradadas proporcionou acréscimo significativo no crescimento da gramínea pioneira *Aristida setifolia*, além de diferenciação e maximização dos efeitos de outros insumos, como calcário, turfa e torta de mamona (*Ricinus communis* L.).

Em pastagem com capim-marandu (*Brachiaria brizantha*), plantas leguminosas arbóreas enriqueceram a macrofauna e a qualidade do sistema solo-planta (Dias et al., 2006). Esses autores observaram que, nos consórcios marandu + jurema-branca (*Mimosa artemisiana*) e marandu + jurema-preta (*M. tenuiflora*), os grupos da mesofauna que predominaram foram Oligochaeta > Formicidae > larvas de Coleoptera. Nos consórcios marandu + orelha-de-negro (*Enterolobium contortisiliquum*) e marandu + guachapele (*Pseudosamanea guachapele*), predominaram os grupos Formicidae > Oligochaeta > larvas de Coleoptera.

As minhocas, que propiciam a redistribuição de resíduos orgânicos no perfil do solo, a decomposição da MOS, e que, abrindo canais, favorecem a aeração e a infiltração de água no solo, são também favorecidas pelo cultivo de adubos verdes (Espindola et al., 1997). Os macroporos e a porosidade total do solo foram influenciados pelo cultivo de gliricídia (*Gliricidia sepium*) e leucena (*Leucaena leucocephala*) no sistema de alamedas (Barreto; Fernandes, 2001), o que ratifica a ideia de que, também entre as espécies arbóreas, há muitas plantas com elevado potencial de melhoria de solos.

A taxa de infiltração de água foi significativamente aumentada pelo uso de *C. ochroleuca* cultivada antes de milho e antes de feijão, segundo Fischler et al. (1999).

A melhoria dos atributos dos solos degradados depende do tipo e do estágio da degradação e da perspectiva de tempo que se tenha para promover a recuperação, mas a associação da adubação verde com outras práticas de manejo, como o plantio direto e a adubação mineral equilibrada e orgânica, são de fundamental importância.

Plantas melhoradoras de solo e fitorremediação

Fitorremediação é um processo que utiliza plantas hiperacumuladoras de metais pesados para remover poluentes de solos ou de água. Trata-se de tecnologia de baixo custo (Garbisu; Alkorta, 2001), promissora da redução de concentrações de metais pesados nas camadas mais superficiais do solo em situações em que esses poluentes representam pequeno risco ao meio ambiente (Pichtel et al., 2000).

As limitações ao uso dessa técnica foram relacionadas em estudos incipientes, pois são conhecidas poucas espécies capazes de tolerar a toxidez, acumular metais pesados e produzir razoável quantidade de fitomassa. Destacam-se, entretanto, estudos com feijão-de-porco (Pires et al., 2005; Belo et al., 2007), mucuna-preta (Belo et al., 2007) e *Galianthe grandifolia* (Vilhalva, 2008), espécies com potencial para a fitorremediação.

Para descontaminar o solo, recomenda-se adotar um conjunto de práticas integradas, como: isolamento da área, adoção de quebra-ventos, uso de plantio direto e rotação e consórcio de culturas com plantas fitorremediadoras.

Recuperação de áreas com plantas herbáceas e arbustivas

Áreas rurais submetidas a atividades agrícolas (culturas e/ou pastagens) podem apresentar variadas situações de degradação, desde o declínio da produtividade e da qualidade dos produtos gerados até a completa impossibilidade de uso agrícola, como áreas de ocorrência de voçorocas e estádios avançados de erosão laminar (perda completa da camada orgânica do solo). Neste capítulo, a recuperação de área degradada é entendida como um processo de busca de melhoria da integridade ecológica, da biodiversidade e da estabilidade em longo prazo, com base na capacidade natural de mudança do ecossistema ao longo do tempo (Engel; Parrota, 2003). Isso pode ser obtido mediante a aplicação de técnicas de manejo que visem tornar um ambiente degradado apto a um novo uso produtivo, desde que sustentável (Sánchez, 2008).

As plantas melhoradoras, ao serem usadas como adubos verdes, devem ser capazes de: a) cobrir o solo rapidamente, predominando sobre a vegetação nativa, sem práticas dispendiosas de controle; b) proteger o solo dos agentes causadores da erosão; c) diminuir a temperatura na superfície do solo e a evaporação de água; d) reciclar nutrientes das zonas mais profundas do perfil, remobilizando-os para a superfície; e) romper as camadas coesas e/ou compactadas; e f) aumentar o teor de MOS (Calegari, 1995).

Espécies de adubos verdes para cultivo no outono/inverno

Clima e solo são alguns dos fatores que influenciam o desenvolvimento de plantas, fato ratificado por muitos estudos. Aveia-preta (*Avena strigosa*), azevém-anual (*Lolium multiflorum*), chícharo (*Lathyrus sativus*), ervilhaca-comum (*Vicia sativa* L.), ervilhaca-peluda (*Vicia villosa* Rotl.), serradela-flor-rosa (*Ornithopus sativus*), tremoço-amarelo (*Lupinus luteus*), tremoço-branco (*Lupinus albus*), trevo-branco (*Trifolium repens*), trevo-vermelho (*Trifolium pratense*) e trevo-vesiculoso (*Trifolium vesiculosum*) foram avaliadas por Barradas et al. (2001) em Nova Friburgo, RJ. Os autores observaram que, em solo com baixos teores de P, Ca e Mg, as espécies que se destacaram foram as cultivares de tremoço-branco e aveia-preta.

Na região norte de Mato Grosso do Sul, Hernani et al. (1995) verificaram que as espécies de adubos verdes para cultivo no inverno que melhor se comportaram foram centeio e nabo-forrageiro; já no sul desse estado, as que se destacaram foram aveia-preta, aveia-branca, centeio, nabo-forrageiro, tremoço-branco e triticale (x *Triticosecale* Wittmack).

Avaliando a revegetação de Neossolos Quartzarênicos Distróficos na região sudoeste do Rio Grande do Sul, Rovedder (2003) verificou que a aveia-preta reduziu em 92% a movimentação da areia pela ação dos ventos, o que demonstra que essa espécie é eficiente para conter a arenização.

Efeitos de aveia-preta, ervilhaca-comum e nabo-forrageiro em cultivos solteiros e consorciados sobre o N acumulado em plantas de milho foram estudados por Giacomini et al. (2004) no Rio Grande do Sul. A ervilhaca e o nabo-forrageiro, tanto solteiros como consorciados com aveia, proporcionaram maior produtividade de milho do que o pousio e a aveia solteira. A produtividade de grãos de milho na sucessão aveia + ervilhaca-milho foi equivalente a 70% da produtividade obtida no tratamento pousio-milho, em que se aplicaram 180 kg ha⁻¹ de N (N-ureia) para o milho. Os tratamentos aveia + ervilhaca-milho e ervilhaca solteira-milho apresentaram efeitos similares sobre a produtividade de milho subsequente.

Em Passos, MG, avaliando diferentes adubos verdes e seus efeitos sobre o milho subsequente, cultivados em plantio direto, Camargo e Piza (2007) verificaram que a aveia-preta gerou maior produção de massa seca, mas esse tratamento não apresentou diferenças significativas em relação à aveia-branca, a *Brachiaria decumbens* e ao nabo-forrageiro quanto ao teor de MOS e à produtividade de grãos da cultura do milho subsequente.

Espécies de adubos verdes para cultivo na primavera/verão

Os adubos verdes mais estudados são os da família das leguminosas cultivadas na primavera/verão. Dessas espécies, Meda e Furlani (2005) classificaram como: a) altamente tolerantes ao Al: *Mucuna nivea*, *M. deeringiana*, *Mucuna aterrima*, *Vigna unguiculata* 'BR 17' e *Lablab purpureus* 'Rongai'; b) tolerantes: guandu 'Iapar 43', guandu 'Fava Larga', feijão-bravo, calopogônio (*Calopogonium mucunoides*) e *Crotalaria mucronata*; e c) sensíveis: *Neonotonia wightii*, *Crotalaria breviflora* e *C. juncea*.

Nascimento e Silva (2004), avaliando diversas espécies de leguminosas quanto à capacidade de produção de fitomassa em um Luvissole degradado de Alagoíinha, PB, concluíram que leucena, guandu, mucuna-preta, cudzu (*Pueraria phaseoloides*) e feijão-de-porco foram as mais eficientes.

No Acre, para avaliar formas de recuperação de áreas de pastagens, as espécies *Panicum maximum* 'Colonião', 'Tobiatã', 'Massai' e 'BRA-006670' e as leguminosas amendoim-forrageiro (*Arachis pintoi*) 'BRA-015121' e *Arachis glabrata* 'Arbrook' e puerária (*Pueraria phaseoloides*) foram cultivadas solteiras e consorciadas (Valentim; Moreira, 2001). Decorridas 3 semanas de crescimento no período seco, os consórcios da 'Massai' com as leguminosas puerária e amendoim-forrageiro 'BRA-015121' resultaram em aumentos superiores a 80% na produtividade de forragem (com taxa de acúmulo de 55 kg ha⁻¹ dia⁻¹ de matéria seca de forragem) quando comparadas com pastagens solteiras. Ressalte-se que esses consórcios são recomendados para sistemas de manejo mais intensivos, em que a altura das gramíneas, antes e depois do pastejo, pode ser controlada, a fim de evitar o sombreamento excessivo da leguminosa.

Em Uberaba, MG, Torres et al. (2005), avaliando milheto [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Brown)], *Brachiaria brizantha*, sorgo-forrageiro (*Sorghum bicolor*), guandu, *Crotalaria juncea* e aveia-preta, verificaram que milheto e *Crotalaria* apresentaram maior produção de massa seca e maior acúmulo e liberação de N para o solo.

Em Mato Grosso do Sul, Padovan et al. (2007) avaliaram a acumulação de massa e de N por feijão-de-porco, crotalária (*C. juncea*), guandu-anão (*Cajanus cajan*) e milheto em monocultivo e *C. juncea* e milheto consorciados, bem como o efeito desses tratamentos sobre a cultura do repolho, comparando-os com parcelas capinadas e em pousio (plantas espontâneas). Os autores constataram que, entre os adubos verdes, a crotalária, o guandu e o consórcio crotalária + milheto exerceram efeito significativo na produtividade do repolho em relação à parcela mantida em pousio.

Guandu, gergelim (*Sesamum indicum*), milheto e quinoa (*Chenopodium quinoa*) foram avaliados no estado de Goiás, por Jimenez et al. (2008), em um solo com diferentes níveis de compactação. Os autores constataram que o aumento da densidade do solo não influenciou a densidade e o comprimento radicular do guandu, do gergelim e da quinoa. Todavia, essas espécies apresentaram desempenho inferior ao do milheto, que desenvolveu maior densidade e comprimento de raízes em todas as camadas e situações de compactação do solo, o que indica que essa gramínea tem grande potencial de uso e melhor adaptabilidade a solos degradados do que as demais espécies estudadas.

Os efeitos residuais das gramíneas milho e aveia-preta e das leguminosas *C. juncea*, guandu e mucuna-preta no rendimento do feijoeiro irrigado foram avaliados por Wutke et al. (1998) em Ribeirão Preto, SP. Esses autores observaram que as espécies mucuna-preta, crotalária-júncea e milho propiciaram as maiores produções de massa verde e que, em relação ao pousio, o cultivo da sequência mucuna-preta (no outono/inverno)-feijoeiro irrigado-milho (de ciclo curto) contribuiu para o aumento da produtividade do feijoeiro.

Recuperação de áreas com plantas arbóreas

Para recuperar áreas de reserva legal, mata ciliar e áreas de preservação permanente, devem ser definidas a seleção, a densidade populacional, a distribuição no espaço e a melhor época de implantação das espécies, de acordo com as condições de solo e clima.

Para selecionar espécies, deve-se considerar que, na floresta, há plantas pioneiras (de crescimento rápido em ambientes iluminados e ciclo de vida curto), plantas clímax (de crescimento lento em locais sombreados e ciclo de vida longo) e plantas secundárias iniciais (que têm crescimento e necessidade de iluminação intermediária em relação às anteriores e vivem cerca de 25 anos).

As pioneiras, também denominadas “especialistas de grandes clareiras”, germinam e desenvolvem-se a pleno sol; produzem precocemente muitas sementes pequenas, normalmente com dormência, que são submetidas à dispersão por animais. Na floresta tropical, ocorrem em pequeno número de espécies, mas com grande número de indivíduos. Segundo Macedo (1993), *Trema micrantha*, *Cecropia* sp., *Croton floribundus*, *Croton urucurana*, *Mimosa scabrella*, *Miconia cinnamomifolia*, *Solanum* sp., *Mimosa bimucronata*, *Citharexylum myrianthum*, *Inga* sp., *Piptadenia* sp., *Guazuma ulmifolia* estão entre as principais espécies utilizadas em florestas de proteção no estado de São Paulo.

As espécies clímax têm crescimento lento, germinam e desenvolvem-se à sombra e produzem sementes grandes, normalmente sem dormência. São consideradas tolerantes ao sombreamento e ocorrem no sub-bosque ou no dossel da floresta, em pequeno número, com média e alta densidade de indivíduos. As principais espécies desse grupo, segundo Macedo (1993), são: *Esenbeckia leiocarpa*, *Euterpe edulis*, *Copaifera langsdorffii*, *Hymenaea stilbocarpa*, *Securinega guaraiuva*, *Ilex paraguayensis* e *Enterolobium contortisiliquum*.

Reis (1995) sugere considerar também outro grupo de plantas, composto por espécies bagueiras, cujos frutos atraem um grande número de animais. São elas: figueiras (*Ficus* sp.), muitas mirtáceas e a maioria das palmeiras (*Arecastrum* spp., *Attalea* spp., *Geonoma* spp., *Butia* spp. e *Bactris* spp.). O autor enfatiza que a espécie juçara (*Euterpe edulis*) é uma das mais efetivas porque atrai animais de variados portes e capacidade de dispersão. Esse autor acrescenta que a utilização de bagueiras pode aumentar rapidamente o número de espécies dentro da área a ser recuperada, constituindo, então, uma boa estratégia de recuperação da resiliência ambiental.

Quinto (2003) recomenda que, em áreas de proteção permanente (mata ciliar, por exemplo), os locais a serem recuperados sejam avaliados quanto ao estado da degradação (solo-vegetação), à capacidade de autorrecuperação e à presença de florestas remanescentes nas proximidades. Com base nessas informações, será possível elaborar o plano de recuperação – que pode envolver desde o simples isolamento até o replantio de todo o local degradado – com espécies autóctones e melhoradoras.

A quantidade e a combinação de espécies a serem implantadas é fundamental no processo de recuperação do local. Conforme Quinto (2003), o simples revolvimento do solo por meio da escarificação superficial propiciará o ressurgimento de parte das espécies perdidas. Em combinação com essa ação, pode-se contar com a semeadura espontânea de fragmentos de vegetações nativas circunvizinhas, feita por pássaros e outros animais. A depender dos procedimentos adotados, a recuperação da cobertura vegetal pode ser obtida em 2 anos ou até menos. Contudo, esse autor observa que, dependendo da espécie, plantas arbóreas que compõem a mata ciliar podem levar até 50 anos para atingir a maturidade.

Para restaurar áreas degradadas localizadas em zonas ripárias (vegetação + solo + rio), Atanasio et al. (2006) sugerem o adensamento dos indivíduos e o enriquecimento das espé-

cies. Para que esses objetivos sejam atingidos, esses autores recomendam as seguintes ações: isolamento da área, eliminação dos fatores de degradação, controle de espécies competidoras, condução da regeneração natural, transplante de mudas, introdução de mudas, semeadura direta, hidrossemeadura, transferência de serapilheira, indução de banco de sementes autóctone, transferência de banco de sementes alóctone, poleiros naturais e poleiro artificial.

Na Tabela 2, há exemplos de espécies indicadas para a recomposição da cobertura vegetal e da qualidade ambiental, seus hábitos de crescimento e suas formas de aproveitamento.

Tendo em vista algumas alterações na legislação ambiental constantes do novo Código Florestal Brasileiro (Brasil, 2012), sugere-se que, na restauração, as áreas degradadas sejam destinadas à preservação permanente ou à reserva legal e que sejam aplicados métodos complementares (como implantação de espécies arbóreas e arbustivas, que produzam frutos comestíveis e essências) que também possibilitem retorno econômico para as pessoas diretamente envolvidas.

Tabela 2. Denominação, hábito de desenvolvimento e formas de aproveitamento de espécies arbóreas para a recuperação de área degradada.

Nome comum e científico	Hábito	Aproveitamento ⁽¹⁾
Açaí (<i>Euterpe precatoria</i>)	Palmeira	Alimento e construção
Açoita-cavalo (<i>Luehea</i> sp.)	Árvore	Madeira
Angelim-branco (<i>Andira</i> sp.)	Árvore	Forragem
Araçá (<i>Eugenia</i> sp.)	Árvore	Mel e forragem
Araçá-d'água (<i>Myrciaria dubia</i>)	Árvore	Alimento
Araçá-verde (<i>Psidium</i> sp.)	Árvore	Alimento e lenha
Araticum-cagão (<i>Annona densicoma</i>)	Árvore	Forragem
Aroeira (<i>Astronium lecointei</i>)	Árvore	Madeira
Breu-folha-miúda (<i>Protium</i> sp.)	Árvore	Forragem
Buchicho-liso (<i>Miconia</i> sp.)	Árvore	Mel
Carapanaúba-amarela (<i>Aspidosperma auriculatum</i>)	Árvore	Medicamento e lenha
Caroba (<i>Jacaranda copaia</i>)	Árvore	Madeira
Cedro (<i>Cedrela odorata</i>)	Árvore	Madeira
Cedro-branco (<i>Cedrela fissilis</i>)	Árvore	Madeira
Cedro-bravo (<i>Guarea</i> sp.)	Árvore	Mel
Cipó-sangue (<i>Machaerium</i> sp.)	Cipó	Mel
Cipó-unha-de-gato (<i>Acacia</i> sp.)	Cipó	Medicamento
Copaíba-branca (<i>Copaifera</i> sp.)	Árvore	Madeira e medicamento
Fava-branca (<i>Piptadenia</i> sp.)	Árvore	Construção
Freijó-branco (<i>Cordia</i> sp.)	Árvore	Forragem

Continua...

Tabela 2. Continuação.

Nome comum e científico	Hábito	Aproveitamento⁽¹⁾
Fumo-bravo (<i>Aegiphila</i> sp.)	Árvore	Mel
Goiabinha (<i>Eugenia</i> sp.)	Árvore	Mel e forragem
Imbaúba-branca (<i>Cecropia leucoma</i>)	Árvore	Forragem e medicamento
Ingá-canela (<i>Inga</i> sp.)	Árvore	Alimento e lenha
Ingá-mirim (<i>Inga</i> sp.)	Árvore	Alimento e lenha
Jacareúba (<i>Calophyllum</i> sp.)	Árvore	Madeira
Jatobá (<i>Hymenaea courbaril</i>)	Árvore	Madeira, alimento e medicamento
Jenipapo (<i>Genipa americana</i>)	Árvore	Madeira e alimento
Jequitibá (<i>Cariniana</i> sp.)	Árvore	Madeira
Laranjinha (<i>Casearia gossypiospermum</i>)	Árvore	Madeira
Limãozinho (<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>)	Árvore	Construção
Louro-amarelo (<i>Nectandra</i> sp.)	Árvore	Forragem e construção
Louro-manga (<i>Ocotea</i> sp.)	Árvore	Forragem e lenha
Malva-branca (<i>Heliocarpus</i> sp.)	Árvore	Artesanato
Morototó (<i>Didymopanax morototoni</i>)	Árvore	Madeira
Mutamba-preta (<i>Guazuma ulmifolia</i>)	Árvore	Madeira, alimento e medicamento
Pau-alho (<i>Gallesia gorazema</i>)	Árvore	Mel
Pau-pirarucu (<i>Actinostemon amazonicus</i>)	Árvore	Mel
Pau-pombo (<i>Tapirira guianensis</i>)	Árvore	Madeira
Pau-sangue (<i>Pterocarpus</i> sp.)	Árvore	Lenha e construção
Pau-xixuá (<i>Maytenus</i> sp.)	Árvore	Medicamento
Pau-d'arco-amarelo-folha-lisa (<i>Tabebuia</i> sp.)	Árvore	Madeira, medicamento e lenha
Pequi (<i>Caryocar villosum</i>)	Árvore	Madeira e alimento
Periquiteira (<i>Trema micrantha</i>)	Árvore	Forragem e construção
Peroba-rosa (<i>Aspidosperma</i> sp.)	Árvore	Madeira
Pirarara-mirim (<i>Esenbeckia</i> sp.)	Arbusto	Mel e medicamento
Pupunha (<i>Bactris gasipaes</i>)	Palmeira	Alimento
Sacaca (<i>Croton</i> sp.)	Arbusto	Medicamento
Samaúba-barriguda (<i>Chorisia speciosa</i>)	Árvore	Madeira, forragem
Tarumã (<i>Vitex triflora</i>)	Árvore	Madeira, lenha
Timbaúba (<i>Enterolobium maximum</i>)	Árvore	Madeira, forragem e artesanato
Ubim-do-brejo (<i>Geonoma</i> sp.)	Palmeira	Construção
Urucu (<i>Bixa orellana</i>)	Árvore	Alimento e medicamento
Vela-branca (<i>Allophylus floribundus</i>)	Árvore	Mel e forragem

⁽¹⁾ Lenha (lenha + carvão); construção (construção rústica); alimento (alimentação humana e animal).

Nesse sentido, os sistemas agroflorestais em bases agroecológicas podem ser importantes alternativas. Moldados num processo participativo e em aspectos socioeconômico-ambientais locais e, dessa forma, conduzidos sob diferentes arranjos, esses sistemas de produção podem proporcionar, além dos benefícios ambientais, a geração de uma fonte sustentável de alimentos e de renda.

No processo de recuperação de áreas de pastagens, algumas espécies arbóreas podem ser utilizadas em sistema de manejo silvipastoril e podem proporcionar, por meio de sombreamento, microclima mais adequado ao crescimento das pastagens e ao bem-estar dos animais, com reflexos positivos na produtividade do sistema. Além de serem utilizadas como fonte de proteína para os animais, algumas plantas produzem madeira, frutos e outras fontes de renda. Entre essas espécies, citam-se: gliricídia (*Gliricidia sepium*), cumbaru (*Dipteryx alata*), eritrina (*Erythrina mulungu*), pequi (*Caryocar brasiliense*), angico (*Anadenanthera* spp.) e canafístula (*Cassia fistula*).

Espécies arbóreas fixadoras de N foram relacionadas por Franco et al. (1992) (Tabela 3). Tais plantas, além de melhorarem o solo em vários de seus atributos, podem ser utilizadas para outros fins.

Em Latossolo Vermelho compactado do entorno da Usina Hidrelétrica de Camargos, no sul de Minas Gerais, foram avaliadas as espécies arbóreas angico-amarelo (*Peltophorum dubium*), aroeirinha (*Schinus terebinthifolius*), candiúva (*Trema micrantha*), cássia-verrugosa (*Senna multijuga*), fedegoso (*Senna macranthera*), goiabeira (*Psidium guajava*), guapuruvu (*Schizolobium parahyba*), ipê-mirim (*Stenolobium stans*) e jacarandá-mimoso (*Jacaranda mimosifolia*). Decorridos 36 meses, concluiu-se que o fedegoso superou as demais espécies em altura, e a candiúva foi a que apresentou a maior copa (Faria et al., 1997).

Estudando áreas degradadas por exploração de mineração, Gonçalves-Alvim et al. (2002) observaram que as espécies mais frequentes e que melhor se adaptaram foram *Borreria* sp. (Rubiaceae), *Borreria latifolia* (Rubiaceae), *Dalbergia miscolobium* (Leguminosae), *Rapanea* sp. (Myrsinaceae), *Vernonia fruticulosa* (Asteraceae) e *Tibouchina* sp. (Melastomataceae). Os autores ressaltaram, no entanto, que, nas áreas adjacentes, a riqueza de espécies era muito superior à existente nas escavações. Já para a recuperação de áreas degradadas pela extração de areia na região de Ribeirão Vermelho, MG, Souza et al. (2001) recomendaram o cultivo das espécies aroeirinha e acácia (*Acacia mangium*).

As espécies timbaúva (*Enterolobium contortisiliquum*), canafístula (*Peltophorum dubium*) e cedro (*Cedrela fissilis*) têm potencial para serem utilizadas no método de regeneração por semeadura direta em campos abandonados ou degradados (Meneghello; Mattei, 2004).

Procedimentos baseados no simples plantio de espécies arbóreas podem ser onerosos e não gerar resultados positivos (Quinto, 2003). Esse autor enfatiza que a recuperação de áreas

Tabela 3. Espécies arbóreas fixadoras de nitrogênio (N) para recuperação de áreas degradadas, porte máximo e possibilidades de uso.

Espécie	Porte máximo (m)	Possibilidade de uso
<i>Acacia auriculiformis</i>	20	Ornamentação e tanino
<i>Acacia longifolia</i>	8	Lenha e mel
<i>Acacia mangium</i>	30	Celulose e construção civil
<i>Acacia mearnsii</i>	10	Tanino
<i>Albizia guachapele</i>	20	Ornamentação
<i>Albizia lebeck</i>	25	Forragem
<i>Albizia saman</i>	30	Ornamentação
<i>Casuarina equisetifolia</i>	30	Tanino, quebra-ventos e fixação de dunas
<i>Casuarina cunninghamiana</i>	20	Quebra-ventos
<i>Calliandra calothyrsus</i>	10	Cerca viva e ornamentação
<i>Clitoria fairchildiana</i>	20	Lenha
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	40	Cerca viva e postes
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	30	Cerca viva e postes
<i>Gliricidia sepium</i>	10	Forragem e moirão vivo
<i>Inga marginata</i>	15	Alimentação e mel
<i>Leucaena leucocephala</i>	20	Forragem
<i>Mimosa bimucronata</i>	10	Lenha
<i>Mimosa caesalpiniiifolia</i>	10	Forragem, mourão e quebra-ventos
<i>Mimosa flocculosa</i>	7	Lenha
<i>Mimosa scabrella</i>	12	Mel
<i>Mimosa tenuiflora</i>	5	Cerca viva
<i>Paraserianthes falcataria</i>	40	Tanino e celulose
<i>Piptadenia gonoacantha</i>	20	Lenha
<i>Sesbania grandiflora</i>	10	Forragem e tanino

Fonte: Adaptado de Franco et al. (1992).

deve envolver o uso de espécies da flora local ou regional (autóctones) associado ao replantio de outras espécies, melhoradoras de solo, e a técnicas conservacionistas de manejo do solo.

A taxa de recuperação de um ecossistema degradado depende das práticas de manejo. Moreira (2004), ao analisar Cambissolos degradados, verificou que a subsolagem influenciou significativamente na área da copa das árvores e na produção de matéria seca das espécies avaliadas. Além disso, observou que a fertilização mineral e a recolocação da camada orgânica superficial do solo contribuíram para a melhoria da fertilidade, para a sobrevivência das árvores e para a regeneração natural.

Considerações finais

A recuperação de áreas agrícolas degradadas implica vários objetivos: 1) elevar o teor de MOS visando melhorar a qualidade físico-químico-biológica do solo; 2) incrementar os teores de nutrientes de plantas visando à melhoria da fertilidade do solo e do desenvolvimento das plantas; 3) promover a cobertura viva do solo ao longo de todo o ano e de forma contínua, ao longo do tempo; 4) incrementar o desenvolvimento de sistemas radiculares agressivos visando promover a reciclagem de nutrientes de plantas, a aeração, a agregação, a atividade biológica da rizosfera e o rompimento biológico de camadas adensadas; 5) eliminar ou minimizar os fatores condicionantes dos processos de degradação; 6) minimizar os processos erosivos por meio da cobertura (viva e morta) permanente do solo e da ausência de preparo ou revolvimento do solo; 7) elevar a biodiversidade; 8) melhorar a qualidade e a disponibilidade de água; e 9) promover o equilíbrio, de forma estável e sustentável, entre os componentes bióticos e abióticos do ecossistema envolvido.

Nesse sentido, as ações devem ser planejadas numa perspectiva de médio e longo prazos e envolver um conjunto de técnicas de conservação e manejo que, administradas de forma integrada e contínua no espaço e no tempo, permitam a melhoria dos atributos do solo, da biodiversidade e dos recursos hídricos.

Essas ações consistem em: isolamento da área problema; cobertura viva e morta do solo (cultivo ao longo de todo o ano); adubação orgânica e adubação verde; adubação mineral com fontes naturais e de baixa solubilidade de nutrientes; sistemas agroflorestais, prioritariamente em bases agroecológicas, incluindo-se os silvipastoris e os agrossilvipastoris; aleias (consórcio de espécies arbóreas + arbustivas regionais); quebra-ventos; reavaliação, recuperação ou introdução de práticas de conservação do solo; inoculação de sementes com bactérias simbiotes e fungos micorrízicos; consórcio de culturas; rotação de culturas; agregação de efeitos de espécies C3 com espécies C4 (consórcios); faixas de contenção com espécies vegetais arbóreas e arbustivas; semeadura direta ou plantio direto; e monitoramento contínuo da qualidade da vegetação, do solo e da água e dos aspectos econômicos.

Referências

AGUIAR, A. V.; SILVA, A. M.; MORAES, M. L. T.; FREITAS, M. L. M.; BORTOLOZO, F. R. Implantação de espécies nativas para recuperação de áreas degradadas em região de Cerrado. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 4., 2000, Blumenau. **Silvicultura ambiental**: anais. Blumenau: Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas: Fundação Universidade Regional de Blumenau, 2000. 1 CD-ROM.

AITA, C.; FRIES, M. R.; GIACOMINI, S. J. Ciclagem de nutrientes no solo com plantas de cobertura e dejetos de animais. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 24.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 8.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 6.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO,

- 3., 2000, Santa Maria, RS. **Fertbio 2000**: biodinâmica do solo. Santa Maria, RS: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Sociedade Brasileira de Microbiologia, 2000. 1 CD-ROM.
- ALCÂNTARA, F. A. de; FURTINI NETO, A. E.; PAULA, M. B.; MESQUITA, H. A.; MUNIZ, J. A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 2, p. 277-288, fev. 2000.
- ALCÂNTARA, M. A. K.; CAMARGO, O. A. Fator de retardamento e coeficiente de dispersão-difusão para crômio (III) em solos muito intemperizados, influenciados pelo pH, textura e matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 1, p. 209-216, jan./mar. 2001.
- ALLOWAY, B. J. (Ed.). **Heavy metals in soils**. 2nd ed. London: Blackie Academic, 1995. 368 p.
- ALVES, M. C. Recuperação dos solos degradados pela agricultura. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDUCAÇÃO AMBIENTAL NA AGRICULTURA, 5., 2006, Campinas. **Anais...** Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2006. 1 CD-ROM.
- ALVES, M. C.; SUZUKI, L. E. A. S. Influência de diferentes sistemas de manejo do solo na recuperação de suas propriedades físicas. **Acta Scientiarum: agronomy**, v. 26, n. 1, p. 27-34, jan./mar. 2004. DOI: 10.4025/actasciagron.v26i1.1953.
- AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; COSTA, L. M.; OLIVEIRA, C. de; VELLOSO, A. C. X. Metais pesados em alguns fertilizantes e corretivos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 16, n. 2, p. 271-276, maio/ago. 1992.
- AMARAL, R. D.; BARROS, N. F.; COSTA, L. M.; FONTES, M. P. F. Efeito de um resíduo da indústria de zinco sobre a química de amostras de solo e plantas de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, n. 3, p. 433-440, set./out. 1996.
- ATTANASIO, C. M.; RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S.; NAVE, A. G. **Adequação ambiental de propriedades rurais**: recuperação de áreas degradadas: restauração de matas ciliares. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Laboratório de Ecologia e Restauração Florestal, 2006. 65 p.
- BARNI, N. A.; FREITAS, J. M. de O.; MATZENAUER, R.; TOMAZZI, D. J.; ZANOTELLI, V.; ARGENTA, G.; SECHIN, J.; TIMM, P. J.; DIDONÉ, I. A.; HILEBRAND, G.; BUENO, A. C.; RIBEIRO, S. de S. **Plantas recicladoras de nutrientes e de proteção do solo, para uso em sistemas equilibrados de produção agrícola**. Porto Alegre: Fepagro, 2003. 84 p. (FEPAGRO. Boletim, 12).
- BARRADAS, C. A. A.; FREIRE, L. R.; ALMEIDA, D. L. de; DE-POLLI, H. Comportamento de adubos verdes de inverno na região serrana fluminense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 12, p. 1461-1468, dez. 2001.
- BARRETO, A. C.; FERNANDES, M. F. Cultivo de *Gliricidia sepium* e *Leucaena leucocephala* em alamedas visando melhoria dos solos dos Tabuleiros Costeiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 10, p. 1287-1293, out. 2001.
- BASTA, N. T.; TABATABAI, M. A. Effect of cropping systems on adsorption of metals by soils. II. Effect of pH. **Soil Science**, v. 153, n. 3, p. 195-204, Mar. 1992.
- BELO, A. F.; SANTOS, E. A.; SANTOS, J. B.; FERREIRA, L. R.; SILVA, A. A.; CECON, P. R.; SILVA, L. L. Fitorremediação de solo adubado com composto orgânico e contaminado com trifloxysulfuron-sodium. **Planta Daninha**, v. 25, n. 2, p. 251-258, 2007.
- BINGEMAN, C. W.; VARNER, J. E.; MARTIN, W. P. The effect of the addition of organic materials on the decomposition of an organic soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 17, n. 1, p. 34-38, Jan. 1953.
- BLUM, R. H. Basic concepts: degradation, resilience and rehabilitation. In: LAL, R.; BLUM, R. H.; VALENTINE, C.; STEWART, B. A. (Ed.). **Methods for assessment of soil degradation**. New York: CRC, 1998. p. 1-16.
- BRACCINI, A. L.; BRITO, C. H.; PÔNZIO, J. B.; MORETTI, C. L.; LOURES, E. G. Efeito da aplicação de resíduos orgânicos com diferentes relações C/N sobre algumas características químicas de um Latossolo Vermelho-escuro. **Revista Ceres**, v. 42, n. 244, p. 671-684, nov./dez. 1995.
- BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 28 maio 2012. Seção 1.
- CALEGARI, A. **Leguminosas para adubação de verão no Paraná**. Londrina: Iapar, 1995. 117 p. (IAPAR. Circular, 80).

CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E. A.; COSTA, M. B. B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T. J. C. Aspectos gerais da adubação verde. In: COSTA, M. B. B. da (Coord.). **Adubação verde no sul do Brasil**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1992. Parte 1, p. 1-55.

CAMARGO, R. de; PIZA, R. J. Produção de biomassa de plantas de cobertura e efeitos na cultura do milho sob sistema plantio direto no município de Passos, MG. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 3, p. 76-80, July/Sept. 2007.

CERETTA, C. A. Ciclagem de nutrientes como estratégia à maior eficiência no uso dos nutrientes. In: FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C. (Org.). **Manejo e fertilidade de solos em plantio direto**. Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2006. p. 105-134.

DIAS, L. E.; GRIFFITH, J. J. Conceituação e caracterização de áreas degradadas. In: DIAS, L. E.; MELLO, J. W. V. (Ed.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 1998. p. 1-7.

DIAS, P. F.; SOUTO, S. M.; CORREIA, M. E. F.; RODRIGUES, K. de M.; FRANCO, A. A. **Influência de leguminosas arbóreas na macrofauna do solo em pastagem**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2006. 19 p. (Embrapa Agrobiologia. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 12).

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment: proceedings**. Madison: Soil Science Society of America: American Society of Agronomy, 1994. p. 3-22. (SSSA. Special publication, 35).

DOURADO, M. C.; SILVA, T. R. B.; BOLONHEZI, A. C. Matéria seca de grãos de *Crotalaria juncea* L. submetida à poda e à adubação fosfatada. **Scientia Agrícola**, v. 58, n. 2, p. 287-293, abr./jun. 2001.

ENGEL, V. L.; PARROTA, J. A. Definindo a restauração ecológica: tendências e perspectivas mundiais. In: KAGEYAMA, P. Y.; OLIVEIRA, R. E. de; MORAES, L. F. D. de; ANGEL, V. L.; GANDARA, F. B. (Org.). **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu: Fepaf, 2003. p. 1-26.

ESPINDOLA, J. A. A.; ALMEIDA, D. L. de; GUERRA, J. G. M. **Benefícios da adubação verde sobre a simbiose micorrízica e a produtividade da batata doce**. Seropédica: Embrapa-CNPAB, 1997. 6 p. (Embrapa-CNPAB. Comunicado técnico, 14).

ESPÍNDOLA, J.A.A.; ALMEIDA, D.L. de; GUERRA, J.G.M.; SILVA, E.M.R. da; SOUZA, F.A. de. Influência da adubação verde na colonização micorrízica e na produção da batata-doce. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, n.3, p.339-347, 1998.

FARIA, C. M. B.; COSTA, N. D.; FARIA, A. F. Atributos químicos de um Argissolo e rendimento de melão mediante o uso de adubos verdes, calagem e adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 2, p. 299-307, mar./abr. 2007.

FARIA, C. M. B.; SOARES, J. M.; LEÃO, P. C. S. Adubação verde com leguminosas em videira no submédio São Francisco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 4, p. 641-648, jul./ago. 2004.

FARIA, J. M. R.; DAVIDE, A. C.; BOTELHO, S. A. Comportamento de espécies florestais em área degradada com duas adubações de plantio. **Cerne**, v. 3, n. 1, p. 25-44, 1997.

FISCHLER, M.; WORTMANN, C. S.; FEIL, B. *Crotalaria* (*C. ochroleuca* G. Don.) as a green manure in maize-bean cropping systems in Uganda. **Field Crops Research**, v. 61, n. 2, p. 97-107, Apr. 1999. DOI: 10.1016/S0378-4290(98)00150-6.

FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F. C.; SILVA, E. M. R. da; FARIA, S. M. de. **Revegetação de solos degradados**. Seropédica: EMBRAPA-CNPBS, 1992. 9 p. (EMBRAPA-CNPBS. Comunicado técnico, 9).

FRANCO, A. A.; CAMPOS NETO, D.; CUNHA, C. de O.; CAMPELLO, E. F. C.; MONTEIRO, E. M. da S.; SANTOS, C. J. F.; FONTES, A. M.; FARIA, S. M. de. Revegetação de solos degradados. In: WORKSHOP SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1., 1990, Itaguaí. **Anais...** Itaguaí: Ed. da UFRRJ, 1991. p. 133-157.

GARBISU, C.; ALKORTA, I. Phytoextraction: a cost-effective plant-based technology for the removal of metals from the environmental. **Bioresource Technology**, v. 77, n. 3, p. 229-236, May 2001. DOI: 10.1016/S0960-8524(00)00108-5.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; CHIAPINOTTO, I. C.; HÜBNER, A. P.; MARQUES, M. G.; CADORE, F. Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto. II - Nitrogênio acumulado pelo milho e produtividade de grãos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 4, p. 751-762, jul./ago. 2004.

GONÇALVES, C. N.; CERETA, C. A. Plantas de cobertura de solo antecedendo o milho e seu efeito sobre o carbono orgânico do solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 2, p. 307-313, abr./jun. 1999.

GONÇALVES-ALVIM, S. J.; ALMEIDA, C.; KRAFETUSKI, A. C.; FERNANDES, F.; CLETO, S.; FERNANDES, G. W. Diversidade de plantas em áreas degradadas no quadrilátero ferrífero, Minas Gerais. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO

DE ÁREAS DEGRADADAS, S., 2002, Belo Horizonte. **Anais...** Lavras: Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas: Ed. da Universidade Federal de Lavras, 2002. p. 152-154.

GOUBEIA, R. F. de; ALMEIDA, D. L. de. Avaliação de algumas características agrônômicas de sete adubos verdes de inverno no Município de Paty de Alferes-RJ. **Revista Universidade Rural - Série ciência da vida**, v. 19, n. 1/2, p. 1-11, 1997.

GUPTA, S. C.; DOWDY, R. H.; LARSON, W. E. Hydraulic and thermal properties of a sandy soil as influenced by incorporation of sewage sludge. **Soil Science Society of America Journal**, v. 41, n. 3, p. 601-605, May/June 1977.
DOI: 10.2136/sssaj1977.03615995004100030035x.

HALLAN, M. J.; BARTHOLOMEU, W. V. Influence of rate of plant residue addition in accelerating the decomposition of soil organic matter. **Soil Science Society of America Journal**, v. 17, n. 4, p. 365-368, Oct./Dec. 1953. DOI: 10.2136/sssaj1953.03615995001700040016x.

HERNANI, L. C.; ENDRES, V. C.; PITOL, C.; SALTON, J. C. **Adubos verdes de outono/inverno no Mato Grosso do Sul**. Dourados: EMBRAPA-CPAO, 1995. 93 p. (EMBRAPA-CPAO. Documentos, 4).

HERNANI, L. C.; FREITAS, P. L. de; DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; DE-MARIA, I. C.; LANDERS, J. N. Uma resposta conservacionista – o impacto do Sistema Plantio Direto. In: MANZATTO, C. V.; FREITAS JUNIOR, E. de; PERES, J. R. R. (Ed.). **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. p. 151-161.

HERNANI, L. C.; KURIHARA, C. I.; SILVA, W. M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 1, p.145-154, jan./mar. 1999.

HERNANI, L. C.; SALTON, J. C.; FABRÍCIO, A. C.; DEDECEK, R.; ALVES JÚNIOR, M. Perdas por erosão e rendimentos de soja e de trigo sob diferentes sistemas de preparo de um Latossolo Roxo de Dourados (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 4, p. 667-676, jul./ago. 1997.

JIMENEZ, R. L.; GONÇALVES, W. G.; ARAÚJO FILHO, J. V. de; ASSIS, R. L. de; PIRES, F. R.; SILVA, G. P. Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação em um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 2, p. 116–121, mar./abr. 2008.

JOHNSON, D. L.; AMBROSE, S. H.; BASSETT, T. J.; BPWEN, M. L.; CRUMMEY, D. E.; ISAACSON, J. S.; JOHNSON, D. N.; LAMB, P.; SAUL, M.; WINTER-NELSON, A. E. Meanings of environmental terms. **Journal of Environmental Quality**, v. 26, n. 3, p. 581-589, May/June 1997. DOI: 10.2134/jeq1997.00472425002600030002x.

LEWIS, S. E.; RULE, J. H. Effects of organic matter and iron oxides on mobility of trace metals from flue dust contaminated soil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE BIOGEOCHEMISTRY OF TRACE ELEMENTS, 6., 2001, Guelph. **Proceedings...** [Guelph: Icobte, 2001]. 1 CD-ROM.

LIMA, W. P. Relações hidrológicas em matas ciliares. In: HENRY, R. (Ed.). **Ecótonos nas interfaces dos ecossistemas aquáticos**. São Carlos, SP: RiMa Editora, 2003. p. 301-312.

LINDSAY, W. L. Inorganic phase equilibria of micronutrients in soil. In: MORTVEDT, J. J. (Ed.). **Micronutrients in agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, 1972. p. 41-57.

MACEDO, A. C. **Revegetação: matas ciliares e de proteção ambiental**. São Paulo: Fundação Florestal, 1993. 27 p.

MACEDO, M. C. M.; KICHEL, A. N.; ZIMMER, A. H. **Degradação e alternativas de recuperação de pastagens**. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2000. 4 p. (Embrapa Gado de Corte. Comunicado técnico, 62).

MAPAONA, S. Y.; KITOU, M. Yield response of cabbage to several tropical green manure legume incorporated into soil. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 40, n. 3, p. 415-424, Sept. 1994. DOI: 10.1080/00380768.1994.10413319.

MARTINS, C. R.; MIRANDA, J. C. C.; MIRANDA, L. N. Contribuição de fungos micorrízicos arbusculares nativos no estabelecimento de *Aristida setifolia* Kunth em áreas degradadas de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 4, p. 665-674, abr. 1999.

MAZUR, N. **Níquel, chumbo, zinco e cobre em solos que receberam composto de resíduos sólidos urbanos**. 1997. 129 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MEDA, A. R.; FURLANI, P. R. Tolerance to aluminum toxicity by tropical leguminous plants used as cover crops. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 48, n. 2, p. 309-317, mar. 2005. DOI: 10.1590/S1516-89132005000200019.

MENEGHELLO, G. E.; MATTEI, V. L. Semeadura direta de timbaúva (*Enterolobium contortisiliquum*), canafístula (*Peltophorum dubium*) e cedro (*Cedrela fissilis*) em campos abandonados. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 2, p. 21-27, 2004.

MIYASAKA, M.; PAVAN, M. A.; FRANCHINI, J. C. Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais. **Informações Agronômicas**, n. 92, p. 1-8, dez. 2000.

MOREIRA, P. R. **Manejo do solo e recomposição da vegetação com vistas a recuperação de áreas degradadas pela extração de bauxita, Poços de Caldas, MG**. 2004. 155 f. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) - Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, SP.

MORETI, D.; ALVES, M. C.; VALÉRIO FILHO, W. V.; CARVALHO, M. P. e. Atributos químicos de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo, adubações e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 1, p. 167-175, jan./fev. 2007.

NASCIMENTO, J. T.; SILVA, I. de F. da. Avaliação quantitativa e qualitativa da fitomassa de leguminosas para uso como cobertura de solo. **Ciência Rural**, v. 34, n. 3, p. 947-949, maio/jun. 2004.

NASCIMENTO, J. T.; SILVA, I. de F. da; SANTIAGO, R. D.; SILVA NETO, L. de F. da. Efeito de leguminosas nas características químicas e matéria orgânica de um solo degradado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 3, p. 457-462, set./dez. 2003. DOI: 10.1590/S1415-43662003000300008.

NEVES, I. P. **Adubação verde**. Salvador: Rede de Tecnologia da Bahia, 2007.

OLDEMAN, L. R. The global extent of soil degradation. In: GREENLAND, D. J.; SZABOCLS, I. (Ed.). **Soil resilience and sustainable land use**. Wallingford: Cab International, 1994. p. 99-118.

OLIVEIRA, T. K. de. **Plantas de cobertura em cultivo solteiro e consorciado e seus efeitos no feijoeiro e no solo em plantio direto**. 2001. 101 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

PADOVAN, M. P.; CESAR, M. N. Z.; ALOVISI, A. M. T. Plantio direto de repolho sobre a palhada de adubos verdes num sistema sob manejo orgânico. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, n. 2, p. 872-875, 2007.

PADOVAN, M. P.; OLIVEIRA, F. L. de; CESAR, M. N. Z. O papel estratégico da adubação verde no manejo agroecológico do solo. In: PADOVAN, M. P. **Conversão de sistemas de produção convencionais para agroecológicos: novos rumos à agricultura familiar**. Dourados, 2006. p. 69-83.

PADOVEZZI, V. H.; PADOVAN, M. P.; ALOVISI, A. M. T.; OTSUBO, A. A.; OLIVEIRA, A. Dinâmica de atributos químicos do solo num sistema de produção de consórcio entre adubos verdes e mandioca, sob manejo orgânico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO, 7., 2007, Fortaleza. **Agricultura familiar, políticas públicas e inclusão social: anais**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2007. 1 CD-ROM.

PANKHURST, C. E.; LYNCH, J. M. The role of the soil biota in sustainable agriculture. In: PANKHURST, C. E.; DOUBE, B. M.; GUPTA, V. V. S. R.; GRACE, P. R. (Ed.). **Soil biota: management in sustainable farming systems**. Melbourne: Csiro, 1994. p. 3-9.

PICHTEL, J.; KUROIWA, K.; SAWYERR, H. T. Distribution of Pb, Cd and Ba in soils and plants of two contaminated sites. **Environmental Pollution**, v. 110, n. 1, p. 171-178, Jan./Mar. 2000. DOI: 10.1016/S0269-7491(99)00272-9.

PIRES, F. R.; SOUZA, C. M.; SILVA, A. A.; CECON, P. R.; PROCÓPIO, S. O.; SANTOS, J. B. Fitorremediação de solos contaminados com tebutiuron utilizando-se espécies cultivadas para adubação verde. **Planta Daninha**, v. 23, n. 4, p. 711-717, out./dez. 2005. DOI: 10.1590/S0100-83582005000400020.

POTT, C. A.; MÜLLER, M. M. L.; BERTLLI, P. B. Adubação verde como alternativa agroecológica para recuperação da fertilidade do solo. **Ambiência**, v. 3, n. 1, p. 51-63, jan./abr. 2007.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel, 2002. 549 p.

QUINTO, A. C. Esalq desenvolve métodos alternativos para recuperação de áreas degradadas. **Agência USP de Notícias**, São Paulo, n. 1213, jun. 2003. Disponível em: <<http://www.usp.br/agen/bols/2003/rede1213.htm#primdestaq>>. Acesso em: 26 set. 2008.

RAMALHO, J. F. G. P.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B. do; VELLOSO, A. C. X. Contaminação da Microbacia de Caetés com metais pesados pelo uso de agroquímicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 7, p. 1289-1303, jul. 2000.

RAVEN, K. P.; LOEPPERT, R. H. Trace element composition of fertilizers and soil amendments. **Journal Environmental Quality**, v. 26, n. 2, p. 551-557, Mar./Apr. 1997. DOI: 10.2134/jeq1997.00472425002600020028x.

- REIS, A. **Dispersão de sementes de *Euterpe edulis* (Palmae) em uma Floresta Ombrófila Densa Montana da Encosta Atlântica em Blumenau, SC**. 1995. 154 f. Tese (Doutorado) – Universidade de Campinas, Campinas.
- RODRIGUES FILHO, F. S. O.; GERIN, M. A. N.; IGUE, T.; FEITOSA, C. T.; SANTOS, R. R. Adubação verde e orgânica para o cultivo do amendoim (*Arachis hypogea* L.). **Scientia Agricola**, v. 53, n. 1, p. 88-93, jan./abr. 1996.
DOI: 10.1590/S0103-90161996000100013.
- ROVEDDER, A. P. M. **Revegetação com culturas de cobertura e espécies florestais para contenção do processo de arenização em solos areníticos no Sudoeste do Rio Grande do Sul**. 2003. 120 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.
- SÁNCHEZ, I. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 495 p.
- SANTOS, F. S.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; MAZUR, N. Consequências do manejo do solo na distribuição de metais pesados em um agrossistema com feijão-de-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 1, p. 191-198, jan./fev. 2003.
- SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 2, p. 313-319, abr./jun. 1997.
- SOUZA, P. A. de; VENTURIN, N.; MACEDO, R. L. G. de; ALVARENGA, M. I. N.; SILVA, V. F. da. Estabelecimento de espécies arbóreas em recuperação de área degradada pela extração de areia. **Cerne**, v. 7, n. 2, p. 43-52, 2001.
- SOUZA, S. O. de; OLIVEIRA, H. de F. **Comportamento de leguminosas tropicais para adubo verde**. Niterói: Pesagro-Rio, 1999. 4 p. (PESAGRO-RIO. Comunicado técnico, 245).
- TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ANDRIOLI, I.; POLIDORO, J. C.; FABIAN, A. J. Resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 4, p. 609-618, jul./ago. 2005.
- VALENTIM, J. F.; MOREIRA, P. **Produtividade de forragem de gramíneas e leguminosas em pastagens puras e consorciadas no Acre**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2001. 35 p. (Embrapa Acre. Boletim de pesquisa, 33).
- VASCONCELLOS, C. A.; PACHECO, E. B. Adubação verde e rotação de culturas. **Informe Agropecuário**, ano 13, n. 147, p. 37-40, mar. 1987.
- VEIGA, M. M.; SILVA, D. M.; VEIGA, L. B. E.; FARIA, M. V. de C. Análise da contaminação dos sistemas hídricos por agrotóxicos numa pequena comunidade rural do Sudeste do Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 22, n. 11, p. 2391-2399, nov. 2006.
- VILHALVA, D. A. A. **Estudo morfológico do desenvolvimento das espécies *Galianthe grandifolia* E.L. Cabral (Rubiaceae) e *Campuloclinium chrolepis* Baker (Asteraceae) e submetidas a diferentes concentrações de cádmio**. 2008. 126 f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- WADT, P. G. S. (Ed.). **Práticas de conservação do solo e recuperação de áreas degradadas**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2003. 29 p. (Embrapa Acre. Documentos, 90).
- WUTKE, E. B.; FANCELLI, A. L.; PEREIRA, J. C. V. N. A.; AMBROSANO, G. M. B. Rendimento do feijoeiro irrigado em rotação com culturas graníferas e adubos verdes. **Bragantia**, v. 57, n. 2, p. 325-338, jul./dez. 1998.
DOI: 10.1590/S0006-87051998000200014.
- ZIPER, C.; KOMARNENI, S.; BAKER, D. E. Specific cadmium sorption in relation to the crystal chemistry of clay minerals. **Soil Science Society of America Journal**, v. 52, n. 1, p. 49-53, Jan./Feb. 1988.