

## Indicadores hidrológicos em áreas florestais

### *Hydrological indicators in forested areas*

Walter de Paula Lima

Departamento de Ciências Florestais ESALQ/USP

Maria José Brito Zakia

IPEF

---

**RESUMO:** Na busca da sustentabilidade, torna-se cada vez mais imperativa a necessidade de se estabelecer critérios e indicadores do manejo florestal sustentável. Um dos pilares deste manejo sustentável diz respeito a aspectos ecológicos, vagamente englobados no princípio de manutenção da integridade do ecossistema. Certamente é necessário que os padrões de manejo florestal sustentável devam proporcionar com clareza, ao nível operacional, as práticas e ações condizentes com a meta de sustentabilidade. As plantações florestais com espécies de rápido crescimento, e principalmente com eucaliptos, são freqüentemente criticadas por seus impactos ambientais. As evidências disponíveis são claras para eliminar a maior parte das afirmações exageradas nesta polêmica, mas fica patente, de qualquer forma, que há bastante espaço para a melhoria das práticas de manejo de plantações florestais visando minimizar efeitos ecológicos, a fim de garantir a integridade do ecossistema. A noção da microbacia hidrográfica como unidade ecossistêmica de planejamento das atividades florestais, possibilita a identificação de indicadores hidrológicos condizentes com o manejo sustentável. Além dos conceitos gerais, o presente trabalho procurou, dentro do possível, listar algumas práticas operacionais, assim como parâmetros hidrológicos indicadores de manejo florestal sustentável.

**PALAVRAS-CHAVE:** Microbacias, Critérios, Indicadores, Qualidade da água, Sustentabilidade.

**ABSTRACT:** The establishment of criteria and indicators of sustainable forest management is very important to achieve sustainable development. One of the basic support of such sustainable forest management is related to ecological aspects, which have been vaguely included in the principle of maintenance of ecosystem integrity. Clearly, sustainable forest management patterns should clarify, at operational levels, management practices and actions which are conducive to sustainability. Forest plantations with fast-growing tree species, especially eucalypts, are frequently criticized because of alleged environmental impacts. The available evidences are clear enough to eliminate most of the exaggerations in such controversy, but it is also clear that there is abundant space for the improvement of the management practices of forest plantations, to minimize ecological effects, so as to contribute to the maintenance of ecosystem integrity. The catchment ecosystem renders itself very adequate for the global evaluation of the land use impacts, and its functioning permits the identification of hydrological indicators of sustainable forest management.

**KEYWORDS:** Catchment ecosystem, Criterion, Indicator, Water quality, Sustainability.



## INTRODUÇÃO

De todas as mudanças que se observam no mundo de hoje, a conscientização e a mobilização das pessoas para com os problemas ecológicos do planeta constituem, sem dúvida, uma das mais salutares conquistas da sociedade moderna.

A nível global, o delineamento básico desta nova ordem social está identificado no conceito macro de desenvolvimento sustentável: “desenvolvimento que atende às necessidades e aspirações do presente, sem comprometer a capacidade de atendimento das futuras gerações” (World Commission on Environment and Development, 1987).

A operacionalização deste conceito tem sido alvo de inúmeros esforços internacionais, que culminaram com a realização da UNCED 1992 no Rio de Janeiro, cujas iniciativas e realizações foram recentemente revisadas na Conferência Rio + 5, realizada no Rio de Janeiro em março de 1997. A nível do setor florestal, por exemplo, no Capítulo 11 da Agenda 21 da UNCED 92, ficou estabelecido que os governos, em colaboração com grupos interessados e organizações internacionais concordam em procurar *desenvolver critérios e práticas cientificamente fundamentadas para o manejo, a conservação e o desenvolvimento sustentável de todos os tipos de florestas*.

Este “Manejo Florestal Sustentável”, como paradigma moderno de desenvolvimento florestal, tem sido definido de diversas maneiras, mas há atualmente consenso de que ele deve estar estruturado em três conjuntos de condições básicas, que implicam em manejo florestal que seja economicamente viável, ecologicamente sadio e socialmente justo. Ou seja, além da produção florestal, o conceito de sustentabilidade deve incluir a conservação de todos os demais produtos e benefícios proporcionados pela floresta, incluindo valores ecológicos e sociais.

Torna-se, desta forma, cada vez mais imperativa a necessidade de se estabelecer critérios e indicadores de manejo florestal sustentável. Embora se admita que seja ainda difícil concluir que os critérios e indicadores de bom manejo já estabelecidos sejam garantia de sustentabilidade, ainda assim houve, nos últimos cinco anos, uma verdadeira explosão de iniciativas neste sentido, resultando numa proliferação de diferentes conjuntos de princípios e critérios, com inevitável confusão de termos, além da dificuldade de padronização dos processos decisórios. Em outras palavras, a certificação florestal, baseada nos indicadores hoje utilizados, não é garantia de sustentabilidade, mas apenas atesta que o plano de manejo está sendo implementado de acordo com práticas atualmente reconhecidas como sendo ambientalmente mais sadias (Lima, 1996).

Em que pese a diversidade existente, basicamente os critérios e indicadores estão contidos em cinco princípios gerais de sustentabilidade, relacionados com questões relativas à política e legislação florestal, à ecologia, ao aspecto social, e ao manejo propriamente dito, que são os seguintes (Prabhu *et al.*, 1996):

- a) Política, legislação, planejamento e infra-estrutura institucional;
- b) Manutenção da integridade do ecossistema;
- c) Plano de manejo florestal;
- d) Aspectos sociais;
- e) Monitoramento

Com certeza, quaisquer que sejam, os padrões de manejo florestal sustentável devem proporcionar com clareza, ao nível operacional, as práticas e ações condizentes com a meta da sustentabilidade. No caso de plantações florestais com eucalipto, por exemplo, o que envolve-



ria operacionalizar o princípio de “manutenção da integridade do ecossistema”? Adicionalmente, como equacionar o monitoramento dos indicadores envolvidos ?

Do ponto de vista ambiental, o reflorestamento com eucalipto, em geral, é uma atividade bastante polêmica, função de uma opinião pública generalizada que lhe atribui efeitos ecológicos adversos.

Há, também, o conjunto dos chamados efeitos ecológicos do reflorestamento. Na realidade, efeitos ecológicos decorrentes de qualquer tipo de uso da terra. Estes podem ser reais, e, pode-se dizer, presentes em muitos dos projetos de reflorestamento feitos na fase inicial dos incentivos fiscais no Brasil. Todavia, estes efeitos ecológicos têm uma característica extremamente interessante do ponto de vista desta análise: eles podem ser minimizados, ou seja, eles podem estar ao alcance do controle do profissional florestal, através da adoção de práticas ambientalmente sadias de manejo florestal, conforme os preceitos do manejo florestal sustentável. Estes efeitos ecológicos envolvem principalmente questões relativas aos problemas de destruição de ecossistemas, manutenção da biodiversidade, degradação de microbacias, diminuição do capital de nutrientes do solo, desfiguração da paisagem etc. Deve haver, é claro, outros aspectos envolvidos. No fundo, só há a certeza de que o problema ambiental, em todos os possíveis desdobramentos, não pode mais ser desconsiderado em qualquer projeto florestal.

Nas “Conclusões e Recomendações” do X Congresso Florestal Mundial da FAO realizado em Paris em 1991 encontra-se a seguinte recomendação (FAO, 1991):

*The success of plantation forests depends on suitability of the species, their origin and the objectives to be achieved. Beyond often dogmatic disputes concerning the introduction of exotic species, priority must be given to maintaining the production potential of the soil, as well as a certain level of biodiversity and sustained yield. Management of plantations should be planned with the aim of transforming the plantations into forests.*

Ou seja, o manejo sustentável de plantações florestais deve ser planejado com o objetivo de procurar transformar as plantações em florestas. Ao longo da paisagem, isto envolveria, por exemplo, a existência, no plano de manejo, da preocupação para com a manutenção da capacidade de suporte natural do solo (potencial de produtividade), a manutenção dos valores da microbacia (hidrologia), assim como a manutenção de um certo nível de biodiversidade ao longo da área e de rendimento sustentado das plantações.

Trata-se de uma postura muito mais abrangente e responsável do que a que procura driblar o problema baseado na afirmação de que as plantações florestais devem ser consideradas como culturas de árvores, o que de fato não elimina o problema, pois as culturas agrícolas, via de regra, são também ambientalmente degradantes.

O aspecto ecológico do problema ambiental é duplamente interessante. Por um lado, ele decorre não apenas de pressões ambientalistas, mas é, antes, conseqüência natural do avanço do conhecimento do nosso mundo natural, de seu funcionamento, de suas complexas inter-relações e, mais importante, de sua relativa fragilidade. Nesse sentido, ignorar a questão ambiental pode ser desastroso para todos. Em segundo lugar, a falta de interesse sobre as conseqüências ambientais de projetos florestais já demonstrou resultar em enormes custos adicionais, alguns facilmente identificados e sentidos, outros mais dificilmente enxergados, mas nem por isso menos dramáticos, como é o caso da perda gradativa da produtividade do solo (Repetto, 1990).

O objetivo do presente trabalho é fornecer uma contribuição para a análise um pouco mais detalhada a respeito destas ações e práticas operacionais de manejo florestal sustentável,



principalmente aquelas relacionadas com os aspectos hidrológicos envolvidos no critério de manutenção da integridade do ecossistema.

## FUNDAMENTOS HIDROLÓGICOS DE MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL

O conceito chave para o estabelecimento de um plano de manejo sustentável de plantações florestais deve necessariamente estar baseado no ecossistema (Odum, 1969). Embora suficientemente clara, esta afirmação é, sem dúvida, ainda genérica demais do ponto de vista de sua implementação prática.

O refinamento necessário da idéia resulta da noção da microbacia como unidade ecossistêmica de planejamento (Lotspeich, 1980), (Likens, 1985). Portanto, pode-se, assim, falar em manejo florestal sustentável de plantações florestais, dentro do princípio da manutenção da integridade do ecossistema, como sendo aquele baseado, ou planejado, em termos da manutenção dos valores da microbacia hidrográfica. Este modelo moderno de manejo florestal tem sido chamado de diversas maneiras, mas a base de todos permanece: “manejo integrado”, “manejo sistêmico”, “manejo holístico”, “manejo ambiental”, “nova silvicultura” etc. (Richards, 1989), (Savory, 1988), (Perry e Maghembe, 1989), (Gillis, 1990), (Behan, 1990), (Coats e Miller, 1981), (Coufal, 1989), (Duerr, 1990), (Jackson e Piper, 1989), (O’Keefe, 1990), (Paul e Robertson, 1989), (Pereira, 1973), (Perry *et al.*, 1989), (Sands, 1984), (Waring e Schlesinger, 1985), (Westman, 1990), (Postel e Ryan, 1991).

Ao longo destas linhas, as premissas básicas que devem ser estabelecidas envolvem principalmente o seguinte:

- como em qualquer outra atividade de produção, a obtenção de madeira como matéria-prima industrial a partir de reflorestamento homogêneo com espécies de rápido crescimento causa impactos ambientais;
- a adoção de práticas de manejo florestal que possibilitem a minimização destes impactos ambientais constitui o objetivo do manejo florestal sustentável;
- estas práticas de manejo sustentável são estabelecidas em cada caso, a partir de resultados experimentais, em condições onde seja possível quantificar os impactos causados pelas atividades florestais, assim como quantificar os efeitos de medidas mitigadoras;
- a microbacia, como estrutura primária da paisagem, ou seja, como unidade geomorfológica natural, ou ainda, como a menor manifestação física que permite quantificar, de forma integrada, o funcionamento da natureza, possibilita o estabelecimento de um enfoque sistêmico para as atividades florestais (Aubertin e Patric, 1974), (Walling, 1980), (Likens, 1985), (Moldan e Cerny, 1994).
- desta forma, manejo sustentável seria aquele que possibilita a utilização dos recursos naturais (produção florestal, por exemplo) de maneira tal que não seja destruída a integridade do ecossistema;
- esta integridade é quantificada em termos da manutenção de seu funcionamento ecológico, que engloba basicamente pelo menos os seguintes aspectos chaves do ecossistema: a) a perpetuação de seus processos hidrológicos; b) a perpetuação de sua capacidade natural de suporte, ou seja, sua sustentabilidade; c) a perpetuação de sua diversidade biológica; d) sua resiliência, ou seja, capacidade de resistir a mudanças ambientais; e) sua estabilidade.

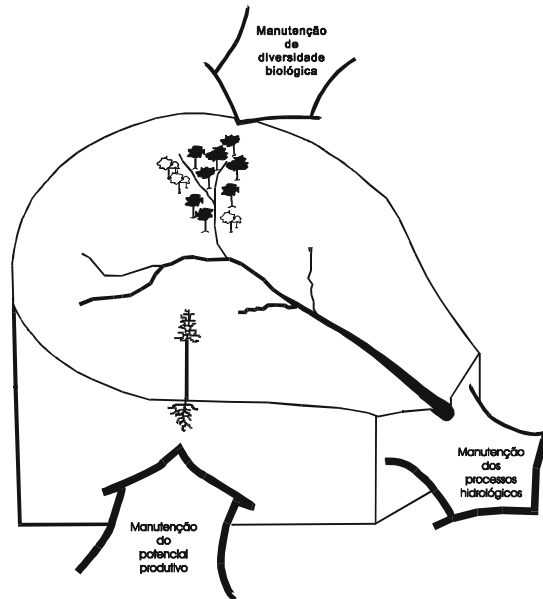


Figura 1

A integridade do ecossistema microbacia: perpetuação de seu funcionamento hidrológico (vazão, quantidade de água, qualidade da água), de seu potencial produtivo (biogeoquímica), e da diversidade ecológica ao longo da área (mata ciliar, zonas ripárias, reservas de vegetação natural).

A aplicação desse objetivo no manejo florestal sustentável não deve ser entendida de forma simplistamente reducionista, ou “por adjacência”, como definido por Behan (1990): num projeto florestal, a madeira é produzida numa dada área, enquanto que a fauna é protegida num outro canto, a biodiversidade fica por conta das áreas de preservação permanente etc., e o manejo, como um todo, é taxado de “sustentável”.

Tampouco deve, por outro lado, ser inteiramente holístico em sua orientação básica, no sentido de que o objetivo seja a preservação tanto da estrutura do ecossistema (composição de espécies, fisionomia da comunidade, etc.), quanto de seu funcionamento íntegro (processos e taxas).

Ao contrário, esse esquema de manejo implica a existência de uma ligação mútua e interativa entre a plantação florestal e todos os demais elementos do ecossistema, incluindo o fluxo de energia e a ciclagem de nutrientes. O manejo sustentável baseia-se no entendimento dessas inter-relações e interações, e na busca de práticas que visem manter a integridade do ecossistema (Gilmour, 1977), (Clinnick, 1985), (Zwolinski, 1991), (Hansen *et al.*, 1991), (Ziemer *et al.*, 1991), (Menzel, 1991), (Sidle e Sharpley, 1991), (Sidle, 1991), (White, 1991), (Laurence, 1991), (Shaxson *et al.*, 1989), (Megahan, 1977), (Bruijnzeel, 1991), (Ghadiri e Rose, 1991), (USDA, 1981), (Richards e Charley, 1983/84), (Harwood e Jackson, 1975), (Harvey *et al.*, 1980), (Khana e Raison, 1981), (Ellis e Graley, 1983), (Hopmans *et al.*, 1987), (Beasley *et al.*, 1986), (Blackburn *et al.*, 1986), (Lima, 1989), (Poggiani, 1985), (Lima, 1995a), (Lima, 1995b), (Bargali e Singh, 1991), (Franklin, 1989), (Gregory *et al.*, 1991), (Hill, 1996).

As medidas práticas de manejo florestal que possibilitam o alcance destes componentes da integridade do ecossistema classificam-se em várias categorias, mas não devem ser consideradas isoladamente. Por exemplo, apenas deixar os 30 metros de mata ciliar protegendo os



cursos d'água, sem levar em conta outras práticas de manejo ambiental, não é condição suficiente para a manutenção da integridade da microbacia.

Na realidade, esta visão integrada deve evoluir desde uma escala micro, que inclui, por exemplo, a preocupação para com a própria superfície do solo, cujas condições são fundamentais para o processo hidrológico mais importante de toda a cadeia de processos que definem a estabilidade da microbacia, que é a infiltração da água no solo.

Tabela 1

Manutenção da capacidade de infiltração do solo: indicador hidrológico elementar de manejo florestal sustentável (Arend, 1942)

Tratamento	Infiltração(mm/h)
Piso florestal intacto	59,9
Piso removido mecanicamente	49,3
Piso queimado anualmente	40,1
Pastagem degradada	24,1

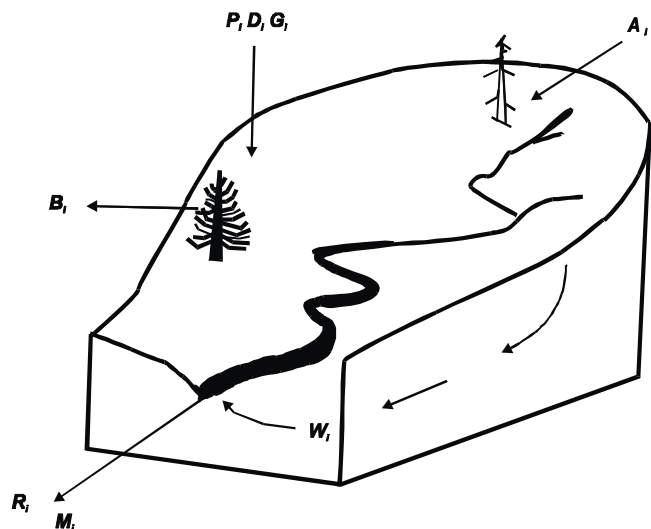
Gradativamente, a escala de preocupação aumenta de nível, passando pelo sistema de preparo do solo, de plantio, de adoção de medidas de conservação do solo, do desenho e da manutenção de estradas e carregadores, de proteção de encostas e de outras áreas críticas, até chegar ao nível mesmo da microbacia, que constitui a escala de manutenção de matas ciliares protegendo não apenas as margens, mas também as cabeceiras e outras áreas ripárias da microbacia.

Ainda na escala da microbacia, o esquema de rotação florestal está diretamente relacionado com a perpetuação da sustentabilidade, ou da capacidade de suporte natural do solo, dentro do conceito da biogeoquímica, que leva em conta os processos de armazenamentos e de fluxos dos nutrientes na microbacia, governados por forças bióticas e abióticas (Moldan e Cerny, 1994), (Vital, 1996).

Figura 2

Em íntima relação com o ciclo hidrológico, a biogeoquímica da microbacia se constitui em indicador de sustentabilidade dos mais importantes. A nível integrado, a contabilização das entradas e das retiradas de nutrientes vai permitir inferir se a capacidade natural de suporte da área (potencial produtivo) está ou não sendo mantida. Fluxos de nutrientes (i) entre a microbacia e o meio:

$P_i$ ,  $D_i$  e  $G_i$  = entradas de nutrientes pelas chuvas, por deposição de particulados, e por gases;  
 $A_i$  = adubação;  
 $B_i$  = exportação via biomassa;  
 $R_i$  e  $M_i$  = perdas pelo escoamento superficial e por sedimentos;  
 $W_i$  = intemperismo (modificado de Moldan e Cerny, 1994).





O arranjo estrutural e deliberado de faixas de vegetação natural de proteção, assim como de outras reservas de vegetação natural ao longo da área de influência do projeto, estaria, por sua vez, contribuindo para com a manutenção da biodiversidade. Além de seu valor cênico, e de sua função hidrológica de proteção da integridade da microbacia, a biodiversidade é, também, elemento chave na resiliência, ou seja, na flexibilidade de resistir a mudanças ambientais.

Finalmente com relação a um enfoque global do manejo sustentável de plantações florestais, a análise ambiental deve, também, considerar uma escala macro, que diz respeito justamente à inserção do projeto florestal no contexto do meio biogeográfico, ou seja, em termos de uma análise mais aprofundada do meio físico, de suas características geomorfológicas, climáticas, de disponibilidades hídricas, de sua flora e fauna, de sua vocação natural, e da interação destas características todas com o homem.

## INDICADORES E MONITORAMENTO AMBIENTAL

Não é intenção do presente trabalho esgotar o assunto, como por exemplo fornecer aqui uma listagem organizada de todos os indicadores hidrológicos (quantitativos e qualitativos), bem como descrever a metodologia de monitoramento de cada um deles.

Ao contrário, a intenção foi a de apresentar uma visão global do tema, calcado no enfoque ecossistêmico da microbacia, a fim de permitir a análise integrada dos possíveis efeitos hidrológicos, de como eles podem influir na integridade do ecossistema, e principalmente de como eles se inter-relacionam.

A nível qualitativo, a avaliação dos indicadores hidrológicos implícita e explicitamente comentados no presente trabalho (desenho do projeto, proteção das zonas ripárias, desenho de estradas e carreadores, colheita florestal etc.) podem ser monitorados através do que está sendo chamado comumente de auditoria ambiental (Degrace, 1996).

O monitoramento ambiental quantitativo, por outro lado, é também aspecto importante do manejo florestal sustentável. Como colocado por Shear (1995), o monitoramento não deve ter a conotação de pesquisa pura, no sentido de que os resultados obtidos não tenham outra finalidade que não a de retro-alimentar as práticas de manejo, na busca constante da sustentabilidade. Ainda nesta mesma linha, é também de fundamental importância que a metodologia utilizada seja capaz de relacionar as causas e os efeitos. Em outras palavras, talvez não seja de todo tão difícil medir, quantitativamente, as mudanças que ocorrem no ambiente em um projeto florestal, como por exemplo a biodiversidade, a cobertura florestal, a concentração de nutrientes nos cursos d'água etc. Todavia, é sem dúvida muito mais difícil identificar estatisticamente as causas destas mudanças (Brydges, 1995), (Calver *et al.*, 1996).

Do ponto de vista dos aspectos hidrológicos, o uso de microbacias experimentais para a finalidade de monitoramento ambiental vem ganhando aceitação generalizada em anos recentes (Adams, 1993), (Moldan e Cerny, 1994), (Lima *et al.*, 1996), (Rosen *et al.*, 1996), (Malmer, 1996). Conforme ilustrado nas Figuras 1 e 2, a microbacia, como unidade geomorfológica da paisagem, pode funcionar como uma manifestação espacialmente bem definida de um sistema natural aberto, dentro do qual as atividades florestais vão, inevitavelmente, estar influenciando o seu funcionamento hidrológico (vazão, qualidade e quantidade de água, perdas de sedimentos etc.), e a sua biogeoquímica (balanço de nutrientes, potencial de produtividade do solo



etc.). Estes fluxos e estas taxas, por sua vez, estão dependentes do nível de biodiversidade, nas suas várias categorias, ao longo da área.

Tabela 2

Indicadores hidrológicos da sustentabilidade das atividades florestais

Escala	Categoria de impacto	Atividades causadoras	Indicadores
Macro	Uso conflitivo da água disponível	. Reflorestamento . Substituição de florestas naturais por plantações	. Balanço hídrico regional
	Desfiguração da paisagem	. Desmatamento . Reflorestamento	. Representatividade da área em termos de ecossistema
Meso	Degradação da microbacia	. Desproteção da zona ripária . Estradas inadequadas	. Extensão e condição da mata ciliar . Desenho, densidade e declividade
		. Destruição da camada orgânica do solo . Compactação do solo . Erosão	. Taxa de mineralização do nitrogênio, queima de resíduos . Infiltração e penetrometro . Medidas de conservação do solo
		. Desmatamento . Silvicultura intensiva	. Vazão
		. Adubação espacialmente e temporalmente inadequada	. Concentração de nitrogênio e de fósforo na água
Micro	Assoreamento dos cursos d'água	. Ausência de mata ciliar . Destruição da zona ripária	. Turbidez
	Perdas de nutrientes por lixiviação	. Erosão . Corte raso	. Condutividade . Oxigênio dissolvido
	Material orgânico	. Erosão	. Cor
	Tóxicos	. Decomposição de folhas e resíduos na água  . Uso de agrotóxicos	. Análise do princípio ativo





## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, P.W. Closing the gaps in knowledge, policy and action to address water issues in forests. *Journal of hydrology*, v.150, p.773-786, 1993.
- AREND, J.L. Infiltration as affected by the forest floor. *Soil science society of America Proceedings*, v.6, p.430-435, 1942.
- AUBERTIN, G.M.; PATRIC, J.H. Water quality after clearcutting a small watershed in West Virginia. *Journal of environmental quality*, v.3, p.243-249, 1974.
- BARGALI, S.S.; SINGH, S.P. Aspects of productivity and nutrient cycling in an 8-year-old *Eucalyptus* plantation in a moist plain area adjacent to central Himalaya, India. *Canadian journal of forest research*, v.21, n.9, p.1365-1372, 1991.
- BEASLEY, R.S.; GRANILLO, A.B.; ZILLMER, V. Sediment losses from forest management: mechanical vs. chemical site preparation after clearcutting. *Journal of environmental quality*, v.15, n.4, p.413-416, 1986.
- BEHAN, R.W. Multiresource forest management: a paradigmatic challenge to professional forestry. *Journal of forestry*, v.88, n.4, p.12-18, 1990.
- BLACKBURN, W.H.; WOOD, J.C.; DEHAVEN, M.G. Stormflow and sediment losses from site-prepared forestland in East Texas. *Water resources research*, v.2, n.5, p.776-784, 1986.
- BRYDGES, T.G. Current perspectives on ecological monitoring and assessment. In: AGUIRRE-BRAVO, C.(ed.) Proceedings of the North American Workshop on monitoring for ecological assessment of terrestrial and aquatic ecosystems, México, September 1995. *USDA. Forest Service. RM general technical report*, n.284, p.8-11, 1995.
- BRUIJNZEEL, L.A. Hydrological impacts of tropical forest conversion. *Nature & resources*, v.27, n.2, p.36-46, 1991.
- CALVER, M.C.; HOBBS, R.J.; HORWITZ, P.; MAIN, A.R. Science, principles and forest management: a response to Abbott and Christensens. *Australian forestry*, v.59, n.1, p. 1-6, 1996.
- CLINNICK, P.D.S.F. Buffer strip management in forest operations: a review. *Australian forestry*, v.48, n.1, p. 34-45, 1985.
- COATS, R.N.; MILLER, T.O. Cumulative silvicultural impacts on watersheds: a hydrologic and regulatory dilemma. *Environmental management*, v.5, n.2, p.147-160, 1981.
- COUFAL, J.E. Forestry: in evolution or revolution? *Journal of forestry*, v.87, n.5, p.27-32, 1989.
- DEGRACE, B. Environmental auditing of industrial forest lands. *The forestry chronicle*, v.72, n.3, p.253-254, 1996.
- DUERR, W.A. Forestry as a system. *Journal of forestry*, v.88, n.4, p.19-22, 1990.
- ELLIS, R.C., GRALEY, A.M. Gains and losses in soil nutrients associated with harvesting and burning eucalypt rain forest. *Plant and soil*, v.74, n.3, p.437-450, 1983.
- FAO. Conclusions and recommendations. *Revue forestiere française: Hors Serie*, n.9, p.285-286, 1991.
- FRANKLIN, J.F. Structural and functional diversity in temperate forests. In: Wilson, E.O., ed. *Biodiversity*. Washington: National Academy Press, 1988. P.166-175.
- GHADIRI, H.; ROSE, C.W. Sorbed chemical transport in overland flow: 1- a nutrient and pesticide enrichment mechanism. *Journal of environmental quality*, v.20, p.628-633, 1991.
- GHOLZ, H.; LIMA, W.P. The ecophysiological basis for productivity in the tropics. In: Nambiar, S.; Brown, A., ed. *Management of soil, water and nutrients in tropical plantation forests*. Canberra: ACIAR, 1997. P.213-246.
- GILLIS, A.M. The new forestry: an ecosystem approach to land management. *Bioscience*, v.40, n.8, p.558-562, 1990.
- GILMOUR, D.A. Logging and the environment, with particular reference to soil and stream protection in tropical rainforest situation. In: FAO. *Guidelines to watershed management*. Rome: FAO, 1977. P.223-235. )FAO conservation guide, n.10).
- GREGORY, W.V.; SWANSON, F.J.; MCKEE, W.A.; CUMMINS, K.W. Na ecosystem perspective of riparian zones. *Bioscience*, v.41, n.8, p.540-551, 1991.
- HARVEY, A.E.; JURGENSEN, M.F.; LARSEN, M.J.. Biological implications of increasing intensity on the maintenance of productivity of forest soils. *USDA. Forest Service, INT general technical report*, n.90, p.211-220, 1980.
- HARWOOD, C.E.; JACKSON, W.D. Atmospheric losses of four plant nutrients during a forest fire. *Australian forestry*, v.38, p.92-99, 1975.
- HILL, A.R. Nitrate removal in stream riparian zones. *Journal of environmental quality*, v.25, p.743-755, 1996.
- HOPMANS, P.; FLIN, D.W.; FARRELL, P.W. Nutrient dynamics of forested catchments in southeastern Australia and changes in water quality and nutrient exports following clearing. *Forest ecology and management*, v.20, p.209-231, 1987.



- JACKSON, W.; PIPER, J. The necessary marriage between ecology and agriculture. *Ecology*, v.70, n.6, p.1591-1593, 1989.
- JANSEN, A.J.; SPIES, T.A.; SWANSON, F.J.; OHMANN, J.L.. Conserving biodiversity in managed forests: lessons from natural forests. *Bioscience*, v.41, n.6, p.382-392, 1991.
- KHANNA, P.S.K.S.; RAISON, R.J. Changes in the chemistry of surface soils and soil solution following prescribed burning in *Eucalyptus pauciflora* forest. In: AUSTRALIAN FOREST NUTRITION WORKSHOP ON PRODUCTIVITY IN PERPETUITY, Canberra, 1981. *Proceedings*. Melbourne: CSIRO, 1981.
- LAURANCE, W.F. Edge effects in tropical forest fragments: application of a model for the design of nature reserves. *Biological conservation*, v.57, p.205-219, 1991.
- LIKENS, G.E. An experimental approach for the study of ecosystems. *Journal of ecology*, v.73, p.381-396, 1985.
- LIMA, W. P. Função hidrológica da mata ciliar. In: BARBOSA, L.M. *Simpósio sobre mata ciliar*. Campinas: Fundação Cargill, 1989. P.25-42.
- . Tecnologia limpa no manejo florestal. *TecBahia*, v.10, n.3, p.28-34, 1995a.
- . Estudo de funções de matas ciliares em microbacias. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 46, Ribeirão Preto, 1995. *Resumos*. Ribeirão Preto: FFCL/USP, 1995b.
- LIMA, W.P.; ZAKIA, M.J.B. Monitoramento de bacias hidrográficas em áreas florestadas. In: WORKSHOP SOBRE MONITORAMENTO AMBIENTAL EM ÁREAS FLORESTADAS, 1, PIRACICABA, 1996. Memória. *Série Técnica IPEF*, v.10, n. 29, p.11-21, 1996.
- LIMA, W.P.; POGGIANI, F.; VITAL, R.T. Impactos ambientais de plantações florestais sobre o regime hídrico e de nutrientes em bacias hidrográficas. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13, Águas de Lindóia, 1996. Solo/Suelo. Piracicaba: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996a. (CD-ROM).
- LIMA, W.P.; MOREIRA, R.M.; SCARDUA, F.P.; MASETTO, A.V.. The hydrology of a small catchment covered with 50-year old eucalyptus plantation in the Itatinga Forest Experimental Station, State of São Paulo. *Scientia forestalis*, n.50, p. 11-19, 1996b.
- LOTSPEICH, F.B. Watersheds as the basic ecosystem: this conceptual framework provides a basis for a natural classification system. *Water resources bulletin*, v.16, n.4, p.581-586, 1980.
- MALMER, A. Hydrological effects and nutrient losses of forest plantation establishment on tropical rainforest land in Sabah, Malaysia. *Journal of hydrology*, v.174, p. 129-148, 1996.
- MEGAHAN, W.F. Reducing erosional impacts of roads. In: In: FAO. *Guidelines to watershed management*. Rome: FAO, 1977. P.237-262. (FAO conservation guide, n.10).
- MENZEL, R.G. Long-term field research on water and environmental quality. *Agronomy journal*, v.83, p.44-49, 1991.
- MOLDAN, B.; CERNY, J., ed. *Biogeochemistry of small catchments: a tool for environmental research*. London: John Wiley, 1994. 418p.
- ODUM, E.P. The strategy of ecosystem development: an understanding of ecological succession provides a basis for resolving man's conflict with nature. *Science*, v.164, n.3877, p.262-270, 1969.
- O'KEEFE, T. Holistic (new) forestry: significant difference or just another gimmick? *Journal of forestry*, v.88, n.4, p.23-24, 1990.
- PAUL, E.A.; ROBERTSON, G.P. Ecology and the agricultural sciences: a false dichotomy? *Ecology*, v.70, p.1594-1597, 1989.
- PEREIRA, H.C. *Land use and water resources*. London: Cambridge University Press, 1973. 246 p.
- PERRY, D.A.; MAGHEMBE, J. Ecosystem concepts and current trends in forest management: a time for reappraisal. *Forest ecology and management*, v.26, p.123-140, 1989.
- PERRY, D.A.; AMARANTHUS, M.P.; BORCHERS, J.G.; BORCHERS, S.L.; BRAINERD, R.E. Bootstrapping in ecosystems. *Bioscience*, v.39, n.4, p.230-237, 1989.
- POGGIANI, F. *Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de Plantações florestais de Eucalyptus e Pinus: implicações silviculturais*. Piracicaba: 1985. 211p. (Tese - Livre-Docência - ESALQ/USP).
- POSTEL, S.; RYAN, J.C. Reforming forestry. In: *State of the World 1991*. New York: W.W. Norton, 1991. P.74-92.
- PRAKHU, R.; COLFER, C.J.P.; VENKATESWARLY, P.; TAN, L.C.; SOEKMADI, R.; WOLLENBERG, E. *Testing criteria and indicators for the sustainable management of forests: phase I, Final Report*. Bogor: CIFOR, 1996. 217 p.
- REPETTO, R. *Promoting environmentally sound economic progress*. Washington: World Resources Institute, 1990.
- RICHARDS, B.N. *Sustainable development in forestry: an ecological perspective*. Vancouver: The Leslie L. Schaffer Lectureship in Forest Science, 1989. 15p.
- RICHARDS, B.N.; CHARLEY, J.L. Mineral cycling processes and system stability in the eucalypt forest. *Forest ecology and management*, v.7, p.31-47, 1983/1984.



- ROSÉN, K.; ARONSON, J.A.; ERIKSSON, H.M. Effects of clear-cutting on streamwater quality in forest catchments in central Sweden. *Forest ecology and management*, v.83, n.3, p.237-244, 1996.
- SANDS, R., Environmental aspects of plantation management. In: BOWEN, G.D; NAMBIAR, E.K.S., ed. *Nutrition of Plantation Forests*. London: Academic Press, 1984. P.413-438.
- SAVORY, A., *Holistic resource management*. Washington: Island Press, 1988. 558p.
- SHAXSON, T.F.; HUDSON, N.W.; SANDERS, D.W.; ROOSE, E.; MOLDENHAUER, W.C.. *Land husbandry: a framework for soil and water conservation*. New York: Soil and Water Conservation Society, 1989. 64p.
- SHEAR, H. Ecological assessment in Canada. In: AGUIRRE-BRAVO, C.(ed.) Proceedings of the North American Workshop on monitoring for ecological assessment of terrestrial and aquatic ecosystems, México, September 1995. *USDA. Forest Service. RM general technical report*, n.284, p.20-30, 1995.
- SIDLE, R.C. A conceptual model of changes in root cohesion in response to vegetation management. *Journal of environmental quality*, v.2, p.43-52, 1991.
- SIDLE, R.C.; SHARPLEY, A.N. Cumulative effects of land management on soil and water resources: an overview. *Journal of environmental quality*, v.2, n.1, p.1-3, 1991.
- USDA. Soil erosion effects on soil productivity: a research perspective. *Journal of soil and water conservation*, v.36, p.82-90, 1981.
- WALLING, D.E. Water in the catchment ecosystem. In: Gowen, M.M. et al., ed. *Water quality in catchment ecosystems*. New York: John Wiley, 1980. P.1-47.
- WARING, R.H.; SCHLESINGER, W.H. *Forest ecosystems: concepts and management*. New York: Academic Press, 1985. 339p.
- WESTMAN, W.E. Managing for biodiversity: unresolved science and policy questions. *Bioscience*, v.4, p.26-33, 1990.
- WHITE, W.A. Economics and sustainable forest development: the case of soil degradation. *The forestry chronicle*, v.67, n.1, p.19-22, 1991.
- WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. *Our common future*. Oxford: Oxford University Press, 1987.
- ZIEMER, R.R.; LEWIS, J.; RICE, R.M.; LISLE, T.E. Modeling the cumulative watershed effects of forest management strategies. *Journal of environmental quality*, v.20, p.36-42, 1991.
- ZWOLINSKI, J.B. Intensive silviculture and yield stability in tree plantations: an ecological perspective. *South African forestry journal*, n.155, p.33-36, 1991.