

**INDICADORES HIDROLÓGICOS DO MANEJO SUSTENTÁVEL DE
PLANTAÇÕES DE EUCALIPTO**
*HYDROLOGICAL INDICATORS OF SUSTAINABLE MANAGEMENT OF
EUCALYPT PLANTATIONS*

Lima, W. de P.

ESALQ/USP - Depto. Ciências Florestais 13418-900 - Piracicaba - SP

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 devem 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 frequentemente 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.

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.

INTRODUÇÃO

De todas as mudanças que se observam no mundo de hoje, a cientificação e a mobilização das pessoas para com os problemas ecológicos do planeta constituem, sem dúvida, uma das mais salutaras 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 as 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 a 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 envolveria operacionalizar o princípio de “manutenção da integridade do ecossistema”? Adicionalmente, como equacionar o monitoramento dos indicadores envolvidos?

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.

A CONTROVÉRSIA SOBRE OS IMPACTOS AMBIENTAIS DE PLANTAÇÕES DE EUCALIPTO

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.

Aliado ao lado emocional da questão, o aspecto ambiental do reflorestamento com eucalipto ganhou ímpeto em anos recentes, mercê da mobilização mundial em torno dos problemas ecológicos do planeta. De fato, já não há lugar mais para atividades de uso dos recursos naturais que não estejam baseadas num cuidadoso plano de manejo, no qual o aspecto ambiental é de fundamental importância. Todavia, quando se trata de procurar entender o que realmente está por trás das inúmeras alegações de possíveis impactos ambientais do reflorestamento, é preciso ir a fundo na questão e analisar o aparente conflito nos seus mais diversos ângulos.

De um lado há o aspecto emotivo envolvido. E aqui nós estamos no reino de problemas irresolúveis. Desde a célebre afirmação de que o “eucalipto seca o solo”, a coleção de *pérolas* é impressionante: “são espécies exóticas”; “ao caírem no chão, suas folhas venenosas matam as outras plantas”; “suas folhas impermeabilizam o solo, não

deixando a água penetrar”; “uma árvore adulta de eucalipto ‘bebe’ até 500 litros de água por dia”; “exalam essências etéreas que esterilizam o ar, destruindo núcleos de condensação e portanto diminuindo as chuvas”; “há variedades [de eucalipto] que parecem sofrer de uma ressaca eterna”; “suas raízes perfuram o lençol freático e retiram água de poços mesmo a quilômetros de distância”; “são espécies invasoras e agressivas”; “esterilizam o solo”, etc.

Estas e outras afirmações fazem parte do folclore sobre o eucalipto. A pesquisa científica ajuda a esclarecer alguns destes aspectos, onde, evidentemente, seja possível o escrutínio da experimentação.

De modo geral, aparte destas afirmações descabidas, pode-se resumir que a preocupação principal contida na controvérsia sobre o eucalipto engloba aspectos relacionados ao consumo de água, à demanda de nutrientes e a efeitos alelopáticos. Às vezes as afirmações encontradas na literatura levam tais preocupações ao extremo, como mostra, por exemplo, o trabalho de JAYAL (1985), o qual afirma que “a alta demanda de água pelo eucalipto esgota a umidade do solo e destrói a

recarga da água subterrânea, desestabilizando o ciclo hidrológico”.

Uma análise compreensiva a respeito desta controvérsia hidrológica sobre o eucalipto, assim como do equacionamento dos problemas ecológicos de plantações florestais, foi publicada recentemente por LIMA (1993), baseado na revisão exaustiva da literatura sobre o assunto. As evidências disponíveis são bastante claras para eliminar a maior parte destes alegados efeitos adversos, mostrando que o eucalipto se comporta como qualquer outra espécie florestal, o que também pode ser confirmado em trabalhos publicados mais recentemente (KALLARAKAL & SOMEN, 1997).

Em termos de consumo de água, há que se entender que plantações florestais, em geral, e principalmente as de espécies de rápido crescimento, consomem mais que vegetação de menor porte, ou mesmo que florestas naturais (SWANK & DOUGLASS, 1975). Esta diferença pode ser melhor compreendida através da Figura 1, que mostra os resultados do balanço hídrico do solo, em termos médios para dois anos consecutivos de medições, comparativamente entre cerrado e plantações de eucalipto e de

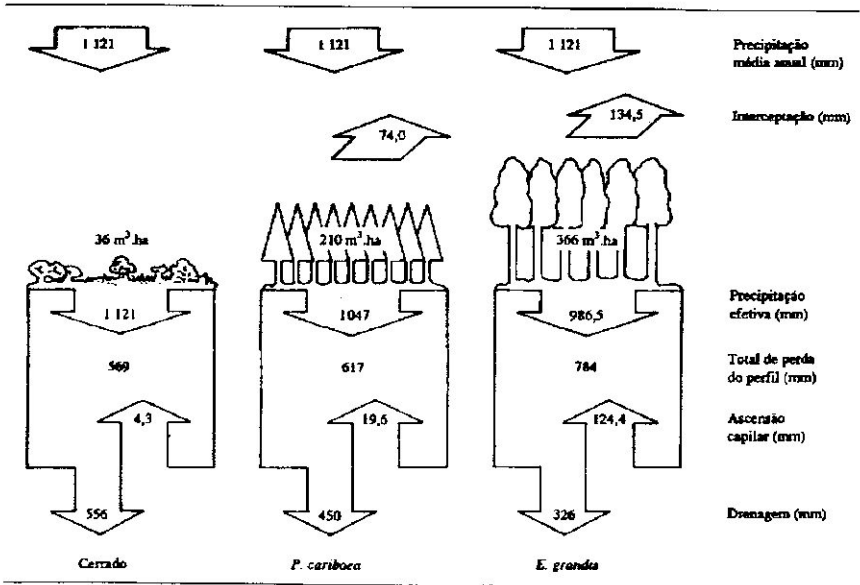


FIGURA 1. Representação esquemática dos componentes do balanço hídrico do solo em plantações de eucalipto e pinus, ambas com idade de 5 anos, e de parcela adjacente contendo vegetação de cerrado (LIMA et al, 1990).

pinus (LIMA et al, 1990). Desde que a precipitação anual seja suficiente, ocorre mesmo um maior consumo de água, mas não a níveis de destruir a recarga da água subterrânea e desestabilizar o ciclo hidrológico.

Este aumento do consumo de água causado pelo reflorestamento tem sido observado em trabalhos experimentais com outras espécies florestais, conforme mostram os resultados compilados na Tabela 1, a qual ilustra os dados de diminuição do deflúvio em

microbacias experimentais reflorestadas.

Uma forma abrangente e integrada de avaliação do efeito hidrológico de plantações florestais é através do balanço hídrico de microbacias, que em termos médios anuais pode se resumir à contabilização dos tres componentes básicos: precipitação, deflúvio e evapotranspiração. A Tabela 2 possibilita uma avaliação comparativa deste balanço hídrico médio anual de microbacias contendo diferentes coberturas vegetais, inclusive

TABELA 1. Alguns resultados experimentais do efeito do reflorestamento sobre a produção de água em microbacias. A diminuição do deflúvio anual representa valores médios medidos à idade da plantação indicada.

Local	Tratamento	Diminuição (mm/ano)	Ref.
África do Sul	98% da bacia reflorestada com <i>Pinus radiata</i>	(16 anos) 356	1
Ohio, EUA	70% da bacia reflorestada com <i>Pinus</i> ; restante já com floresta	(19 anos) 135	2
Carolina do Norte	Corte raso da floresta natural de latifoliadas mistas e reflorestamento da bacia com <i>Pinus strobus</i>	(13 anos) 200	3
África do Sul	100 % da bacia originalmente coberta com savana reflorestada com <i>E. grandis</i>	(5 anos) 371	4
África do Sul	100% da bacia de campo arbustivo reflorestada com <i>E. grandis</i>	(3 anos) 200	5
Índia	60% da bacia reflorestada com <i>E. globulus</i>	(10 anos) 87	6
Fiji	100% da bacia reflorestada com <i>Pinus caribaea</i>	(18 anos) 300	7
São Paulo	98 % da bacia anteriormente com pastagem plantada com <i>E. saligna</i>	(7 anos) 200	8

- (1) WICHT (1943)
- (2) HARROLD et al (1962)
- (3) SWANK & DOUGLASS (1975)
- (4) VANLILL et al (1980)
- (5) BOSCH & SMITH (1989)
- (6) SAMRAJ et al (1988)
- (7) WATERLOO, 1994)
- (8) VITAL (1996)

TABELA 2. Avaliação comparativa dos componentes do balanço hídrico médio de microbacias contendo diferentes coberturas vegetais.

VEGETAÇÃO	LOCAL	P	Q (mm/ano)	ET	REF.
CAMPO	África do Sul	1400	650	750	1
	Reino Unido	2348	1944	405	2
SAVANA	Arizona, USA	549	34	515	3
	Califórnia, USA	648	64	584	4
LATIFOLIADAS	África do Sul	1390	590	800	5
	Georgia, USA	1219	467	752	6
CONÍFERAS	West Virginia, USA	1524	584	940	7
	Japão	1113	290	823	8
FLORESTAS TROPICAIS	Oregon, USA	2730	1750	980	9
	Quênia	1905	416	1489	10
	Malásia	2156	1076	1079	11
PLANTAÇÕES FLORESTAIS	Amazônia	2089	541	1548	12
	<i>Pinus sylvestris</i>	Reino Unido	2181	1325	856
<i>Pinus patula</i>	Quênia	2598	1540	1038	11
<i>Agathis dammara</i>	Indonésia	4668	3460	1217	14
<i>Pinus caribaea</i>	Fiji	1547	246	1301	15
<i>Eucalyptus globulus</i>	Portugal	837	8	828	16
<i>Eucalyptus saligna</i>	Brasil	1329	145	1184	17

1. BOSCH (1979)

2. NEWSON (1979)

3. HIBBERT (1971)

4. ROWE (1963)

5. WICHT (1943)

6. HEWLETT (1979)

7. REINHART et al (1963)

8. NAKANO (1967)

9. HARR (1966)

10. PEREIRA (1964)

11. DOLEY (1981)

12. LEOPOLDO et al (1982)

13. STEVENS et al (1989)

14. BRUDNZEEL (1988)

15. DAVID et al (1986)

16. VITAL (1996)

plantações florestais de eucalipto. Pode-se observar que o termo ET (evapotranspiração anual) de plantações florestais se mantem dentro dos padrões normais encontrados em outros tipos florestais (LIMA, 1996b).

Finalmente, o conceito de eficiência do uso da água é também interessante nesta avaliação resumida dos efeitos hidrológicos de plantações de eucalipto. Os poucos dados disponíveis sobre este parâmetro fisiológico mostram que as espécies de eucalipto estudadas apresentam valores altos de

eficiência de uso da água. A questão de se saber, por outro lado, se os eucaliptos produzem mais biomassa por unidade de água consumida do que outras espécies florestais, embora altamente relevante nesta análise, é mais difícil de ser respondida, pelas dificuldades inerentes de sua medição em condições de campo. Alguns poucos dados disponíveis estão contidos na Tabela 3, a qual mostra valores mais altos para espécies de eucalipto, comparativamente a algumas outras espécies florestais (LIMA, 1995a).

TABELA 3. Valores absolutos da eficiência do uso da água (EUA) para algumas espécies florestais

ESPECIE	EUA (g biomassa/kg H ₂ O)
Acacia auriculiformis	1.2
Acacia nilotica	1.3
Albizia lebbek	1.7
Eucalyptus globulus	2.0
Eucalyptus grandis	3.0 - 6.1*
Eucalyptus grandis (2150 árv./ha)	4.6
Eucalyptus grandis (304 árv./ha)	1.9
Eucalyptus grandis	2.9
Eucalyptus maculata	2.3
Eucalyptus tereticornis	1.9
Pinus caribaea	2.1
Pinus caribaea	1.3
Prosopis juliflora	1.4

(*) variação entre 4 clones

Em geral, tais resultados do balanço hídrico de microbacias reflorestadas dizem respeito aos primeiros 5 a 10 anos do plantio, caracterizado pela fase de máximo incremento da biomassa. Os dados encontrados por VAN LILL et al (1980), em microbacias reflorestadas com *Eucalyptus grandis* na África do Sul, mostram uma tendência de estabilização do consumo de água, proporcionalmente à estabilização da taxa de crescimento das árvores.

LIMA et al (1996b), por outro lado, em monitoramento hidrológico de uma microbacia coberta com rebrota de *E. saligna* com mais de 50 anos de idade, encontraram resultados que mostram que a microbacia encontra-se em condições estáveis em termos de balanço hídrico, de qualidade da água, de ciclagem geoquímica de nutrientes, e de relação chuva x escoamento direto (resposta hidrológica da microbacia a uma chuva).

Evidentemente, estes esclarecimentos a respeito das alegações exageradas sobre a hidrologia de plantações contidas na polêmica sobre o eucalipto não permitem concluir que as plantações florestais sejam desprovidas de efeitos ambientais. 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, êle decorre não apenas de pressões ambientalistas, mas é, antes, consequência 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 consequências 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).

3. 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 & MAGHEMBE, 1989), (GILLIS, 1990), (BEHAN, 1990), (COATS & MILLER, 1981), (COUFAL, 1989), (DUERR, 1990), (JACKSON & PIPER, 1989), (O'KEEFE, 1990), (PAUL & ROBERTSON, 1989), (PEREIRA, 1973), (PERRY et al., 1989), (SANDS, 1984), (WARING & SCHLESINGER, 1985), (WESTMAN, 1990), (POSTEL & 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



FOTO 1. Colheita florestal de plantações de eucalipto em corte raso: depois da atividade de preparo do solo, considerada a mais impactante, a colheita florestal é a segunda atividade que mais causa impactos hidrológicos, principalmente quando não leva em conta a manutenção dos valores da microbacia. Perdas de solo, compactação da superfície, alteração da qualidade da água, etc. (DISSMEYER, 1978).

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 & PATRIC, 1974), (WALLING, 1980), (LIKENS, 1985), (MOLDAN & 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.

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 & SHARPLEY, 1991), (SIDLE, 1991), (WHITE, 1991), (LAURANCE, 1991), (SHAXSON et al, 1989), (MEGAHAN, 1977),

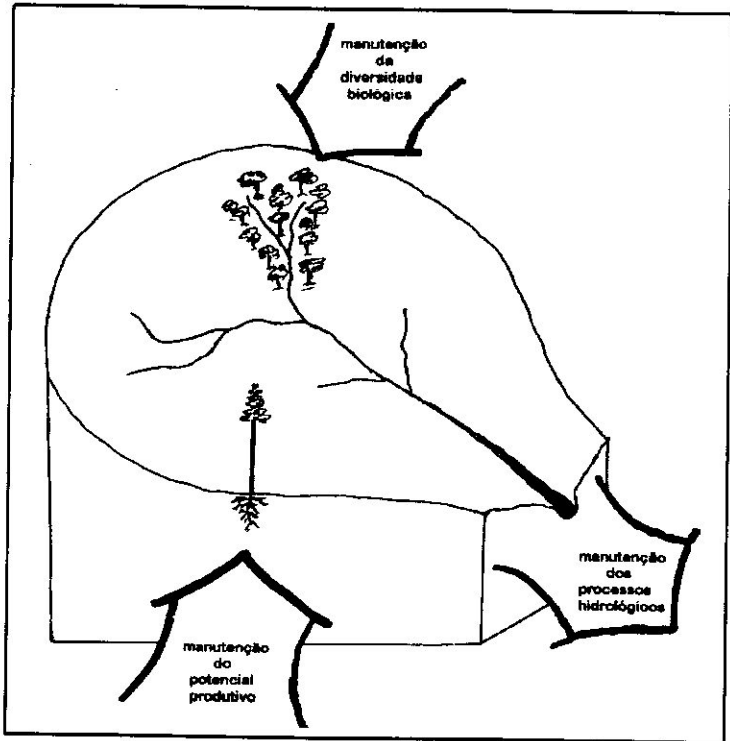


FIGURA 2. A integridade do ecossistema microbacia: perpetuação de seu funcionamento hidrológico (vazão, quantidade de água, qualidade da água), de seu potencial produtivo (biogeoquímica), e da diversidade ecológica ao longo da área (mata ciliar, zonas ripárias, reservas de vegetação natural).

(BRUIJNZEEL, 1991), (GHADIRI & ROSE, 1991), (USDA, 1981), (RICHARDS & CHARLEY, 1983/84), (HARWOOD & JACKSON, 1975), (HARVEY et al, 1980), (KHANA & RAISON, 1981), (ELLIS & GRALEY, 1983), (HOPMANS et al, 1987), (BEASLEY et al, 1986), (BLACKBURN et al, 1986), (LIMA, 1989), (POGGIANI, 1985), (LIMA, 1995a), (LIMA, 1995b), (BARGALI & 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.

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,

TABELA 4. 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

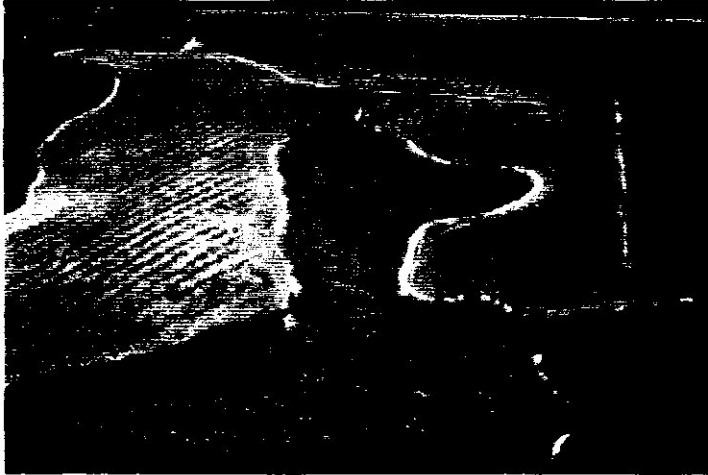


FOTO 2. Plano de ocupação dos espaços produtivos da paisagem para fins de reflorestamento, mantendo-se protegidas as zonas ripárias da microbacia. Um indicador hidrológico de sustentabilidade imprescindível, porém não suficiente, se tomado isoladamente.



FOTO 3. Indicador hidrológico dos mais importantes para a manutenção da integridade do ecossistema: o desenho adequado de estradas e carreadores.

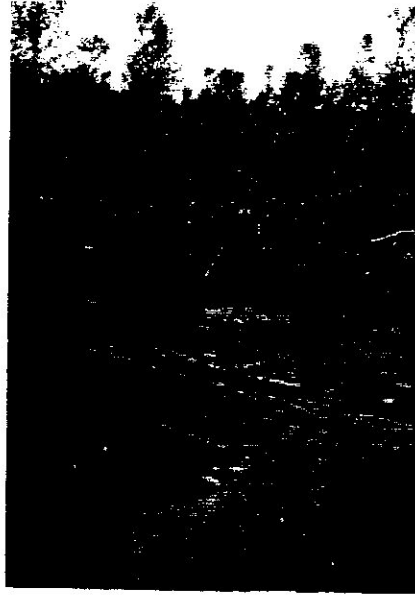


FOTO 4. A zona ripária da microbacia, cuja proteção é importante para a manutenção de sua integridade ecológica, inclui não apenas as margens, mas também as cabeceiras dos cursos d'água. Plantar aqui não está de acordo com a lei, nem tampouco com o manejo sustentável.

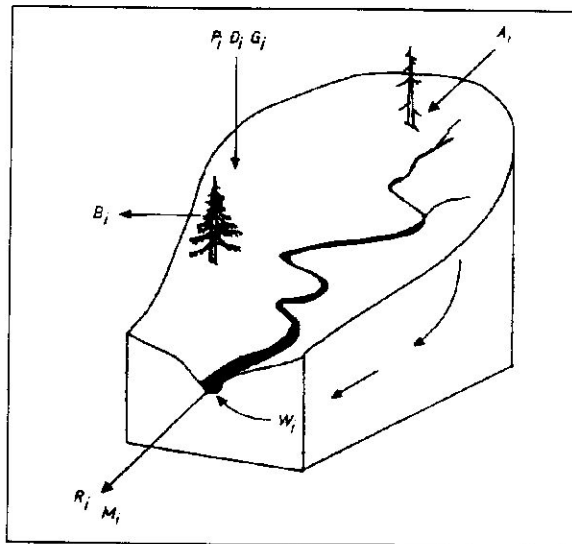


FIGURA 3. Em íntima relação com o ciclo hidrológico, a biogeoquímica da microbacia se constitui em indicador de sustentabilidade dos mais importantes. A nível integrado, a contabilização das entradas e das retiradas de nutrientes vai permitir inferir se a capacidade natural de suporte da área (potencial 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 & CERNY, 1994).

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 & CERNY, 1994), (VITAL, 1996).

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.

4. 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 carregadores, 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 (1996), 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 retroalimentar 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, 1996), (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 & CERNY, 1994), (LIMA et al, 1996), (ROSEN et al, 1996), (MALMER, 1996). Conforme ilustrado nas Figuras 2 e 3, 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.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AREND, J.L., 1942. Infiltration as affected by the forest floor. *Soil Science Society of America Proc.*, 6: 430-435.
- AUBERTIN, G.M. & J.H. PATRIC, 1974. Water quality after clearcutting a small watershed in West Virginia. *Journal of Environmental Quality*, 3(3):243-249.
- ADAMS, P.W., 1993. Closing the gaps in knowledge, policy and action to address water issues in forests. *Journal of Hydrology*, 150: 773-786.
- BARGALI, S.S. & S.P. SINGH, 1991. 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*, 21 (9): 1365-1372.
- BEASLEY, R.S.; A.B. GRANILLO; V. ZILLMER, 1986. Sediment losses from forest management: mechanical vs. chemical site preparation after clearcutting. *Journal of Environmental Quality*, 15 (4): 413-416.
- BEHAN, R.W., 1990. Multiresource forest management: a paradigmatic challenge to professional forestry. *Journal of Forestry*, 88 (4): 12-18.
- BLACKBURN, W.H.; J.C. WOOD; M.G. DEHAVEN, 1986. Stormflow and sediment losses from site-prepared forestland in East Texas. *Water Resources Research*, 2 (5): 776- 784.
- BOSCH, J.M., 1979. Treatment effects on annual and dry period streamflow at Cathedral Park. *South African Forestry Journal*, 108: 29-38.
- BOSCH, J.M. & R.E. SMITH, 1989. The effects of afforestation of indigenous scrub forest with eucalyptus on streamflow from a small catchment in the Transvaal, South Africa. *South African Forestry Journal*, 150: 7-17.
- BRYDGES, T.G., 1996. Current perspectives on Ecological Monitoring and Assessment. In: North American Workshop on Monitoring for Ecological Assessment of Terrestrial and Aquatic Ecosystems. USDA Forest Service General Technical Report RM-GTR-284:8-11.
- BRUIJNZEEL, L.A., 1988. Estimates of evaporation in plantations of *Agathis dammara* Warb in South-Central Java, Indonesia. *Journal of Tropical Forest Science*, 1 (2): 145-161.
- BRUIJNZEEL, L.A., 1991. Hydrological impacts of tropical forest conversion. *Nature & Resources*, 27 (2): 36-46.
- CALVER, M.C.; R.J. HOBBS; P. HORWITZ; A.R. MAIN, 1996. Science, principles and forest management: a response to Abbott and Christensens. *Australian Forestry*, 59 (1): 1-6.
- CLINNICK, P.DSF., 1985. Buffer strip management in forest operations: a review. *Australian Forestry*, 48 (1): 34-45.
- COATS, R.N. & T.O. MILLER, 1981. Cumulative silvicultural impacts on watersheds: a hydrologic and regulatory dilemma. *Environmental Management*, 5 (2): 147-160.
- COUFAL, J.E., 1989. Forestry: in evolution or revolution? *Journal of Forestry*, May 1989: 27-32.
- DAVID, J.S.; M.O. HENRIQUES; Z.C. REGO, 1986. Short-term responses of streamflow following clearcutting in *Eucalyptus globulus* stands in central Portugal. In: *The Influence of Different Kinds of Vegetation Cover on Erosion, Water Quality and Quantity*. Austria, IUFRO-FAO. 12 p.
- DISSMEYER, G.E., 1978. Forest management principles revealed by recent water quality studies. In: *Soil Moisture Productivity Symposium*. Myrtle Beach. USDA Forest Service: 97-109.

- DEGRACE, B., 1996. Environmental auditing of industrial forest lands. *The Forestry Chronicle*, 72 (3): 253-254.
- DOLEY, D., 1981. Tropical and subtropical forests and woodlands. *Water Deficit and Plant Growth*, vol. VI. Academic Press: 209-323.
- DUERR, W.A., 1990. Forestry as a system. *Journal of Forestry*, April 1990: 19-22.
- ELLIS, R.C. & A.M. GRALEY, 1983. Gains and losses in soil nutrients associated with harvesting and burning eucalypt rain forest. *Plant and Soil*, 74 (3): 437-450.
- FAO, 1991. Conclusions and Recommendations. 10th World Forestry Congress. *Revue Forestiere Française*. Hors Serie No 9: 285-286.
- FRANKLIN, J.F., 1988. Structural and functional diversity in temperate forests. In: *Biodiversity*. E.O. Wilson (Ed.). National Academy Press: 166-175.
- GHADIRI, H. & C.W. ROSE, 1991. Sorbed chemical transport in overland flow. I- a nutrient and pesticide enrichment mechanism. *Journal of Environmental Quality*, 20: 628-633.
- GILLIS, A.M., 1990. The new forestry: an ecosystem approach to land management. *Bioscience*, 40 (8): 558-562.
- GILMOUR, D.A., 1977. Logging and the environment, with particular reference to soil and stream protection in tropical rainforest situation. *Guidelines to Watershed Management*. FAO Conservation Guide No 10: 223-235.
- GREGORY, W.V.; F.J. SWANSON; W.A. MCKEE; K.W. CUMMINS, 1991. An ecosystem perspective of riparian zones. *Bioscience*, 41 (8): 540-551.
- GHOLZ, H. & W.P. LIMA, 1997. The ecophysiological basis for productivity in the tropics. In: *Management of Soil, Water and Nutrients in Tropical Plantation Forests*. Nambiar, S. & A. Brown (Eds.). In press.
- JANSEN, A.J.; T.A. SPIES; F.J. SWANSON; J.L. OHMANN, 1991. Conserving biodiversity in managed forests - lessons from natural forests. *Bioscience*, 41 (6): 382-392.
- HARROLD, L.L.; D.L. BRAKENSIEK; J.L. MCGHINNES; C.R. AMERMAN; F.R. DREIBELBIS, 1962. Influence of land use and treatment on the hydrology of small watersheds at Coshocton, Ohio. USDA Technical Bulletin, 1256. 194 p.
- HARVEY, A.E.; M.F. JURGENSEN; M.J. LARSEN, 1980. Biological implications of increasing intensity on the maintenance of productivity of forest soils. *Environmental Consequences of Timber Harvesting*. USDA Forest Service, General Technical Report INT.90: 211-220.
- HARWOOD, C.E. & W.D. JACKSON, 1975. Atmospheric losses of four plant nutrients during a forest fire. *Australian Forestry*, 38: 92-99.
- HARR, R.D., 1976. Forest practices and streamflow in Western Oregon. USDA Forest Service, General Technical Report PNW 49. 18 p.
- HEWLETT, J.D., 1979. Forest water quality: an experiment in harvesting and regenerating Piedmont forests. Research Paper, School of Forest Resources, Athens. 22 p.
- HIBBERT, A.R., 1971. Increases in streamflow after converting chaparral to grass. *Water Resources Research*, 7 (1): 71-90.
- HILL, A.R., 1996. Nitrate removal in stream riparian zones. *Journal of Environmental Quality*, 25: 743-755.
- HOPMANS, P.; D.W. FLIN; P.W. FARRELL, 1987. Nutrient dynamics of forested catchments in southeastern Australia and changes in water quality and nutrient exports following clearing. *Forest Ecology and Management*, 20: 209-231.

- JACKSON, W. & J. PIPER, 1989. The necessary marriage between ecology and agriculture. *Ecology*, 70 (6): 1591-1593.
- JAYAL, N.D., 1985. Destruction of water resources: the most critical ecological crisis of East Asia. *Ambio*, XIV (2): 95-98.
- KALLARACKAL, J. & C.K. SOMEN, 1997. Water use by *Eucalyptus tereticornis* stands of differing density in southern India. *Tree Physiology*, 17: 195-203.
- KHANNA, PS.KS. & R.J. RAISON, 1981. Changes in the chemistry of surface soils and soil solution following prescribed burning in *Eucalyptus pauciflora* forest. *Australian Forest Nutrition Workshop*. Melbourne, CSIRO.
- LAURANCE, W.F., 1991. Edge effects in tropical forest fragments: application of a model for the design of nature reserves. *Biological Conservation*, 57: 205-219.
- LEOPOLDO, P.R.; W. FRANKEN; E. MATSUI; E. SALATI, 1982. Estimativa da evapotranspiração de floresta amazônica de terra firme. *Acta Amazonica*, 12 (3): 23-28.
- LIKENS, G.E., 1985. An experimental approach for the study of ecosystems. *Journal of Ecology*, 73: 381-396.
- LIMA, W.P., 1989. Função hidrológica da mata ciliar. *Simpósio sobre Mata Ciliar*. Fundação Cargill: 25-42.
- LIMA, W.P.; M.J.B. ZAKIA; P.L. LIBARDI; A.P. SOUZA FILHO, 1990. Comparative evapotranspiration of Eucalyptus, Pine and Cerrado vegetation measured by the soil water balance method. *IPEF INTERNATIONAL*, Piracicaba, 1: 5-11.
- LIMA, W.P., 1993. *Impacto Ambiental do Eucalipto*. São Paulo. Edusp. 301 p.
- LIMA, W.P., 1995a. Impactos da Cultura do Eucalipto. *Silvicultura*, xvi (64): 32-38.
- LIMA, W.P., 1995b. Tecnologia limpa no manejo florestal. *TecBahia*, 10 (3): 28-34.
- LIMA, W.P., 1995c. Estudo de funções de matas ciliares em microbacias. XLV Congresso Nacional de Botânica. Ribeirão Preto, SP. 13 p.
- LIMA, W.P., 1996. Critérios e indicadores de avaliação do manejo florestal sustentado: resumo executivo da 3a reunião do IPAP, Costa Rica, fevereiro 1996. *Boletim Informativo*, IPEF. Março 1996: 5-7.
- LIMA, W.P. & M.J.B. ZAKIA, 1996. Monitoramento de bacias hidrográficas em áreas florestadas. I Workshop sobre Monitoramento Ambiental em Áreas Florestadas. Série Técnica IPEF, 10 (29): 11-21.
- LIMA, W.P.; F. POGGIANI; A.R.T. VITAL, 1996a. 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, SP. Anais publicado em CD-ROM.
- LIMA, W.P.; R.M. MOREIRA; F.P. SCARDUA; A.V. MASETTO, 1996b. 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*, 50: 11-19.
- LOTSPEICH, F.B., 1980. Watersheds as the basic ecosystem: this conceptual framework provides a basis for a natural classification system. *Water Resources Bulletin*, 16 (4): 581-586.
- MALMER, A., 1996. Hydrological effects and nutrient losses of forest plantation establishment on tropical rainforest land in Sabah, Malaysia. *Journal of Hydrology*, 174: 129-148.
- MEGAHAN, W.F., 1977. Reducing erosional impacts of roads. *Guidelines for Watershed Management*. FAO Conservation Guide No 1: 237-262.

- MENZEL, R.G., 1991. Long-term field research on water and environmental quality. *Agronomy Journal*, 83: 44-49.
- MOLDAN, B. & J. CERNY (Eds.), 1994. *Biogeochemistry of Small Catchments - A Tool for Environmental Research*. England. John Wiley. 418 p.
- NAKANO, H., 1967. Effects of changes of forest conditions on water yield, peak flow, and direct runoff of small watersheds in Japan. In: *International Symposium on Forest Hydrology*. Sopper & Lull (Eds.). Pergamon Press: 551-554.
- NEWSON, M.D., 1979. The results of ten years experimental study on Plynlimon, Mid-Wales, and their importance for the water industry. *Journal of the Institution of Engineers & Scientists*, 33: 321-333.
- ODUM, E.P., 1969. The strategy of ecosystem development: an understanding of ecological succession provides a basis for resolving man's conflict with nature. *Science*, 164 (3877): 262-270.
- O'KEEFE, T., 1990. Holistic (new) forestry: significant difference or just another gimmick? *Journal of Forestry*, April 1990: 23-24.
- PAUL, E.A. & G.P. ROBERTSON, 1989. Ecology and the agricultural sciences: a false dichotomy? *Ecology*, 70: 1594-1597.
- PEREIRA, H.C., 1964. Research into the effects of land use on streamflow. *Transactions Rhodesia Scientific Association Proc*, 1: 119-124.
- PEREIRA, H.C., 1973. *Land Use and Water Resources*. London, Cambridge University Press. 246 p.
- PERRY, D.A. & J. MAGHEMBE, 1989. Ecosystem concepts and current trends in forest management: a time for reappraisal. *Forest Ecology and Management*, 26: 123-140.
- PERRY, D.A.; M.P. AMARANTHUS; J.G. BORCHERS; S.L. BORCHERS; R.E. BRAINERD, 1989. Bootstrapping in ecosystems. *Bioscience*, 39(4): 230-237.
- POGGIANI, F., 1985. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de plantações florestais de *Eucalyptus* e *Pinus*: implicações silviculturais. ESALQ/USP. Tese de Livre Docência. 211 p.
- POSTEL, S. & J.C. RYAN, 1991. Reforming forestry. In: *State of the World 1991*. New York. W.W. Norton & Co: 74-92.
- PRABHU, R.; C.J.P. COLFER; P. VENKATESWARLY; L.C. TAN; R. SOEKMADI; E. WOLLENBERG, 1996. *Testing Criteria and Indicators for the Sustainable Management of Forests: phase I*. Final Report. CIFOR Special Publication. 217 p.
- REINHART, K.G.; A.R. ESCHNER; G.R. TRIMBLE, JR., 1963. Effect of streamflow of four forest practices in the mountains of West Virginia. USDA Forest Service Research Paper NE-1. 59p.
- REPETTO, R., 1990. *Promoting Environmentally Sound Economic Progress*. World Resources Institute. Washington.
- RICHARDS, B.N., 1989. Sustainable development in forestry: an ecological perspective. The Leslie L. Schaffer Lectureship in Forest Science. Vancouver, Canada. 15 p.
- RICHARDS, B.N. & J.L. CHARLEY, 1983/84. Mineral cycling processes and system stability in the eucalypt forest. *Forest Ecology and Management*, 7: 31-47.
- ROSÉN, K.; J.A. ARONSON; H.M. ERIKSSON, 1996. Effects of clear-cutting on streamwater quality in forest catchments in central Sweden. *Forest Ecology and Management*, 83 (3): 237-244.

- ROWE, P.B., 1963. Streamflow increases after removing woodland riparian vegetation from a southern California watershed. *Journal of Forestry*, 61: 365-370.
- SAMRAJ, J.P.; V.N. SHARDA; S. CHINNAMANI; V. LAKSHMANAN; B. HALDORAI, 1988. Hydrological behaviour of the Nilgiri sub-watersheds as affected by Bluegum plantations. Part I: the annual water balance. *Journal of Hydrology*, 103: 335-345.
- SANDS, R., 1984. Environmental aspects of plantation management. In: *Nutrition of Plantation Forests*. Bowen & Nambiar (Eds.). Academic Press: 413-438.
- SAVORY, A., 1988. *Holistic Resource Management*. Island Press, California. 558p.
- SHAXSON, T.F.; N.W. HUDSON; D.W. SANDERS; E. ROOSE; W.C. MOLDENHAUER, 1989. *Land husbandry: a framework for soil and water conservation*. Soil and Water Conservation Society. 64 p.
- SHEAR, H., 1996. Ecological Assessment in Canada. In: North American Workshop on Monitoring for Ecological Assessment of Terrestrial and Aquatic Ecosystems. USDA Forest Service General Technical Report RM-GTR-284: 20-30.
- SIDLE, R.C., 1991. A conceptual model of changes in root cohesion in response to vegetation management. *Journal of Environmental Quality*, 2: 43-52.
- SIDLE, R.C. & A.N. SHARPLEY, 1991. Cumulative effects of land management on soil and water resources: an overview. *Journal of Environmental Quality*, 2 (1): 1-3.
- STEVENS, P.A.; M. HORNING; S. HUGHES, 1989. Solute concentrations, fluxes and major nutrient cycles in a mature Sitka-Spruce plantation in Beddgelert Forest, North Wales. *Forest Ecology and Management*, 27: 1-20.
- SWANK, W.T. & J.E. DOUGLASS, 1975. Conversion of hardwood-covered watershed to White Pine reduces water yield. *Water Resources Research*, 4: 947-954.
- USDA, 1981. Soil erosion effects on soil productivity: a research perspective. *Journal of Soil and Water Conservation*, 36: 82-90.
- VAN LILL, W.S.; S.D.F.J KRUGER; D.B. VAN WYK, 1980. The effect of afforestation with *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden and *Pinus patula* Schlecht et Chann on streamflow from experimental catchments at Mokobulann, Transvaal. *Journal of Hydrology*, 48: 107-118.
- VITAL, A.R.T., 1996. Efeito do corte raso no balanço hídrico e na ciclagem de nutrientes em uma microbacia reflorestada com eucalipto. ESALQ/ USP, Dissertação de Mestrado. 106 p.
- WALLING, D.E., 1980. Water in the catchment ecosystem. In: Gowen et al (Eds.), *Water Quality in Catchment Ecosystems*. New York. John Wiley: 1-47.
- WARING, R.H. & W.H SCHLESINGER, 1985. *Forest Ecosystems Concepts and Management*. Academic Press. 339 p.
- WATERLOO, M.J., 1994. Water and nutrient dynamics of *Pinus caribaea* plantation forest on former grassland soil in southwest Viti Levy, Fiji. Amsterdam. Vrije Universiteit. PhD Thesis. 478 p.
- WESTMAN, W.E., 1990. Managing for biodiversity: unresolved science and policy questions. *Bioscience*, 4): 26-33.
- WHITE, W.A., 1991. Economics and sustainable forest development: the case of soil degradation. *The Forestry Chronicle*, 67 (1): 19-22.
- WICHT, L., 1943. Determination of the effects of watershed management on mountain streams. *American Geophysical Union Transactions*, 2: 594-608.

WORLD COMISSION ON ENVIRONMENT
AND DEVELOPMENT, 1987. *Our
Common Future*. Oxford University
Press.

ZIEMER, R.R.; J. LEWIS; R.M. RICE; T.E.
LISLE, 1991. Modeling the cumulative
watershed effects of forest management
strategies. *Journal of Environmental
Quality*, 20: 36-42.

ZWOLINSKI, J.B., 1991. Intensive
silviculture and yield stability in tree
plantations: an ecological perspective.
South African Forestry Journal, 155:
33-36.