



**Documentos Técnicos IPEF**



**Promab  
Histórico, Fundamentos e Conquistas**

**março de 2008  
volume 1, número 1**

## **Sumário**

1. Introdução.....	3
2. Base Conceitual.....	4
3. As Hipóteses do Monitoramento .....	6
4. Resultados Alcançados.....	8
5. Conclusão.....	19
6. Agradecimentos.....	19
7. Referências.....	20



## **Equipe PROMAB/ReMAM**

Prof. Walter de Paula Lima (Coordenação Científica)

Carolina Rodrigues Fontana (Coordenação Técnica)

Carla Daniela Câmara

Maureen Voiglaender

Marco Aurélio Lopes Freitas

## I. Introdução

Os primórdios do PROMAB (Programa de Monitoramento Ambiental em Microbacias), hoje um dos Programas Cooperativos do IPEF, foram três projetos de pesquisa do Laboratório de Hidrologia Florestal (LHF), do Departamento de Ciências Florestais da Esalq/USP. O projeto pioneiro foi instalado em 1987, em duas microbacias experimentais localizadas em áreas da então FLORIN Reflorestamento Integrado (hoje Votorantim Celulose e Papel), na Fazenda Bela Vista, Município de Santa Branca, no Vale do Paraíba, SP (Figura 1). As duas microbacias, inseridas numa paisagem de pastagens degradadas, foram reflorestadas com *Eucalyptus saligna* e os objetivos deste projeto envolviam, basicamente, a avaliação dos impactos hidrológicos desta ação. Em 1991, com a incorporação do Horto Florestal de Itatinga à USP, que resultou na criação da Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga, outro trabalho experimental do LHF foi também instalado em uma das microbacias daquela área, na ocasião contendo rebrota de *Eucalyptus saligna* plantado a mais de 50 anos. E em 1994, outro trabalho experimental foi estabelecido pelo LHF, em parceria com o Laboratório de Genética e Biologia Reprodutiva de Espécies Arbóreas do Departamento de Ciências Florestais da Esalq/USP, em uma microbacia localizada em área de reserva de floresta natural não perturbada da então INPACEL, hoje pertencente à Arauco do Brasil, com o propósito de desenvolver estudos genéticos de longo prazo visando relacionar o funcionamento hidrológico das áreas ripárias e a fisionomia das espécies arbóreas que normalmente se desenvolvem nestas áreas (mata ciliar). Ao longo dos dois anos iniciais do desenvolvimento deste trabalho temático na Inpacel, a idéia de se usar a metodologia de microbacias experimentais para o monitoramento das atividades do manejo de florestas plantadas, que é o foco do PROMAB, acabou se consolidando, o que resultou na instalação de outras duas microbacias experimentais em áreas de plantações de *Pinus* da empresa.



**Figura 1.** Os pioneiros: vertedor da microbacia de Santa Branca (esquerda) e de Itatinga (direita).

## 2. Base Conceitual

O PROMAB tem como foco o uso da microbacia hidrográfica experimental para a avaliação dos efeitos do manejo florestal sobre os recursos hídricos, em termos do balanço hídrico da microbacia, de variáveis físicas e químicas da água do riacho e do regime de vazão. Desta forma, a premissa básica é a de que a alteração nestes componentes hidrológicos da microbacia pode ser vista como indicador adequado para o monitoramento, de longo prazo, da sustentabilidade ambiental do manejo. Tendo em vista que a microbacia hidrográfica é a unidade ecossistêmica da paisagem, outra premissa igualmente importante é a de que o manejo florestal que esteja em sintonia com a preservação desses atributos hidrológicos é sinônimo de manejo ecossistêmico.

O uso de microbacias hidrográficas como unidade básica de planejamento do manejo e como método experimental de avaliação da qualidade ambiental das práticas de manejo florestal já é consagrado em vários países do mundo, tendo os trabalhos pioneiros desta metodologia se iniciado por volta de 1850 na França (ANDRÉASSIAN, 2004). A partir de então, centenas de outras microbacias experimentais foram estabelecidas no mundo todo, permitindo a obtenção de resultados experimentais e o esclarecimento de princípios hidrológicos fundamentais, culminando com o surgimento da ciência Hidrologia Florestal, como ramo da Hidrologia que trata das relações entre a floresta e a água na natureza. Esta ciência mostra hoje claramente que as atividades de uso da terra podem ser tanto benéficas como deletérias aos recursos hídricos, constatação essa que sem dúvida continua como preocupação permanente na busca do uso sustentável dos recursos naturais (DeFRIES e ESHLEMAN, 2004). Permitiu, também, o esclarecimento de um processo hidrológico de fundamental importância para a conservação da água e a manutenção da estabilidade hidrológica da microbacia, que é o processo de geração do escoamento direto produzido por uma chuva, cujo desdobramento principal é o conhecimento que hoje se tem a respeito das áreas ripárias, das relações ripárias e, no conjunto, do conceito do ecossistema ripário. Na busca do manejo florestal sustentável este conceito é muito mais eficaz, abrangente e consistente do que os limites arbitrários e a simetria ecologicamente inconsistente das chamadas Áreas de Preservação Permanente.

Obviamente o uso de microbacias para o monitoramento, além de requerer os necessários cuidados metodológicos, em termos de delineamento experimental, instalação e manutenção, necessita também, do estabelecimento de hipóteses norteadoras para o programa. Além disso, os resultados nelas obtidos refletem de forma sistêmica a relação de causa-e-efeito entre as ações de manejo e os efeitos hidrológicos. Ou seja, se não houver medições mais detalhadas dos processos hidrológicos internos da microbacia experimental, fica muito difícil a extrapolação quantitativa de seus resultados, pois cada microbacia é diferente das demais.

No que diz respeito aos cuidados metodológicos, além dos critérios hidráulicos e hidrológicos da construção das estruturas de medição da vazão (Figura 2), há que se levar em conta que o delineamento experimental ideal envolve o uso de duas microbacias adjacentes ou vizinhas, referidas como "microbacias pareadas". Deste conjunto, uma delas é a microbacia experimental propriamente dita, ou de manejo, enquanto que a outra funciona como testemunha ou referência. Quando a microbacia testemunha encontra-se coberta com floresta natural não perturbada, condição esta que normalmente concorre para a manutenção da estabilidade hidrológica da microbacia, então a comparação de seu comportamento com os resultados obtidos na microbacia de manejo permite inferir, estatisticamente, sobre a intensidade e a direção (degradação ou estabilidade) dos efeitos das práticas de manejo florestal.



**Figura 2.** Ilustração de uma estação limimétrica de uma microbacia experimental.

(foto: Sergio Adão Filipaki, Klabin, PR).

Desde que atendidas estas premissas metodológicas, uma das mais significativas contribuições práticas de manejo que o método permite diz respeito ao monitoramento de estudos que visem avaliar prescrições teóricas de manejo. Desta forma, os efeitos hidrológicos poderão ser relacionados com as causas cuidadosamente delineadas, proporcionando assim uma base sólida para a modelagem processual e a extrapolação dos resultados.

### 3. As Hipóteses do Monitoramento

Do ponto de vista de hipóteses, o PROMAB tem como foco os seguintes aspectos básicos:

- a) A partir das mudanças e dos novos paradigmas de manejo que se iniciaram na década de 1980, culminando com o estabelecimento do conceito de manejo sustentável durante a reunião da UNCED (Comissão das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento) no Rio de Janeiro em 1992, o manejo florestal deixou de ser estabelecido apenas na sua dimensão econômica, de maximização da produtividade e minimização de custos. O conceito de manejo florestal sustentável incorpora, igualmente, as dimensões ecológicas e sociais. Ou seja, a manutenção da produtividade florestal é e sempre vai ser o pilar mestre do manejo de florestas plantadas. Todavia, a sustentabilidade deste objetivo primário depende, também, da manutenção de valores ecológicos e sociais, incluindo biodiversidade, solos, água e comunidades locais. Evidentemente que este novo enfoque de manejo não é tarefa simples e muito menos previsível, o que faz com que o conceito de manejo sustentável seja sempre isso mesmo, ou seja, apenas um conceito, não um fim em si mesmo, mas um ponto de partida, uma jornada, um aprendizado constante (LUDWIG, 2001). Não há e nunca haverá um receituário, assim como não há e nunca poderá haver um especialista. A única regra prática consensual pode ser traduzida assim: para o alcance do manejo florestal sustentável, é mais importante o que fica do que o que é produzido. Ou seja, como ficam o solo, a água, a biodiversidade e as pessoas em função da produção florestal. O monitoramento, nesse sentido, é parte integrante do manejo, como ferramenta para a sua melhoria contínua.
- b) A preocupação para com os efeitos das plantações florestais sobre a água é tema permanente e atual no mundo todo e inúmeros resultados experimentais mostram que o manejo de plantações florestais pode resultar em impactos hidrológicos na escala de microbacias hidrográficas (VERTESSY, 2000; ZHANG *et al.*, 2001; SCOTT, 2005; KANOWSKI, 2005; JACKSON *et al.*, 2005; BROWN *et al.*, 2005; ALMEIDA *et al.*, 2007; BROWN *et al.*, 2007; DYE e VERSFELD, 2007; VAN DIJK e KEENAN, 2007; FARLEY *et al.*, 2007).
- c) As variáveis básicas destes possíveis impactos hidrológicos envolvem pelo menos os seguintes aspectos: conflitos pelo uso da água, saúde da microbacia, impactos a jusante e produtividade do solo. Enquanto os três primeiros aspectos dizem respeito a impactos que se refletem fora dos limites da área de influência direta do manejo, o último, além de também se refletir a jusante, afeta principalmente a própria sustentabilidade econômica do manejo florestal.
- d) No nível atual de conhecimento, a análise destas variáveis pode ser inferida a partir do uso dos seguintes indicadores hidrológicos: balanço hídrico da microbacia, regime hidrológico e pico de vazão, variáveis físicas e químicas da água, perdas de solos (sedimentos em suspensão), biogeoquímica da microbacia e nível do lençol freático.
- e) Os parâmetros de qualidade da água normalmente monitorados são aqueles que reconhecidamente podem estar associados ao manejo florestal. Em condições naturais, a cobertura florestal está, em geral, relacionada com a estabilidade hidrológica da microbacia e, portanto, com água de boa qualidade. Nesse sentido, não haveria o que monitorar. Todavia, as ações de manejo, tais como preparo do solo, plantio, tratamentos silviculturais e colheita, podem resultar em aumento nas perdas de solo e de nutrientes da microbacia (HOPMANS e BREN, 2007; TETZLAFF *et al.*, 2007). Por outro lado, estes aumentos também podem ocorrer por eventos chuvosos intensos. Em resumo, parâmetros de qualidade da água, nesse sentido, são monitorados para aferir a qualidade das ações de manejo.
- f) Por último, a questão das escalas da sustentabilidade hidrológica é também um aspecto importante que norteia o programa. Conforme ilustrado na Figura 3, as variáveis hidrológicas fundamentais do monitoramento em microbacias podem ter origem em diferentes escalas. Nesse sentido, os efeitos das práticas de manejo são monitorados na escala da Unidade de Manejo Florestal UMF, através de microbacias experimentais nela estabelecidas. Todavia, os resultados medidos nestas microbacias podem estar relacionados a causas originadas nas escalas macro e regional (condições climáticas, estradas mal feitas ou áreas ripárias degradadas, por exemplo) e não às práticas de manejo (CALDER, 2007). Desta forma, é imperativo que os resultados do monitoramento na escala de microbacias experimentais sejam devidamente analisados em confronto com estas outras escalas de efeitos hidrológicos, pois pode muito bem ocorrer que os resultados obtidos no monitoramento sejam devidos a outras causas e não às práticas de manejo.



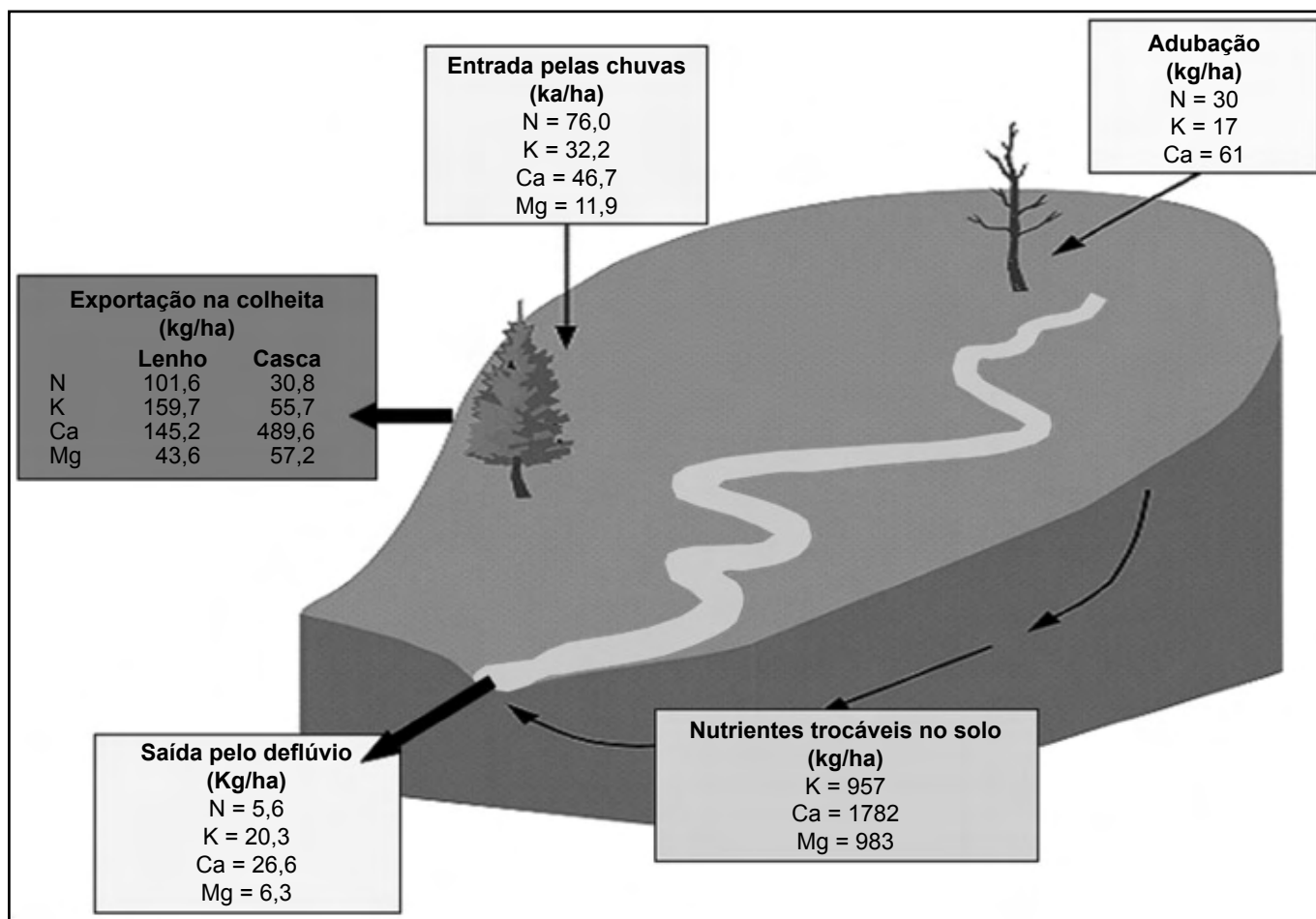
**Figura 3.** As escalas da sustentabilidade hidrológica e seus respectivos indicadores (MENDES e LIMA, 2007).



## 4. Resultados Alcançados

Os três trabalhos pioneiros que deram origem ao PROMAB produziram resultados úteis como ferramenta para nortear a estratégia de manejo florestal das empresas visando à conservação do solo e da água.

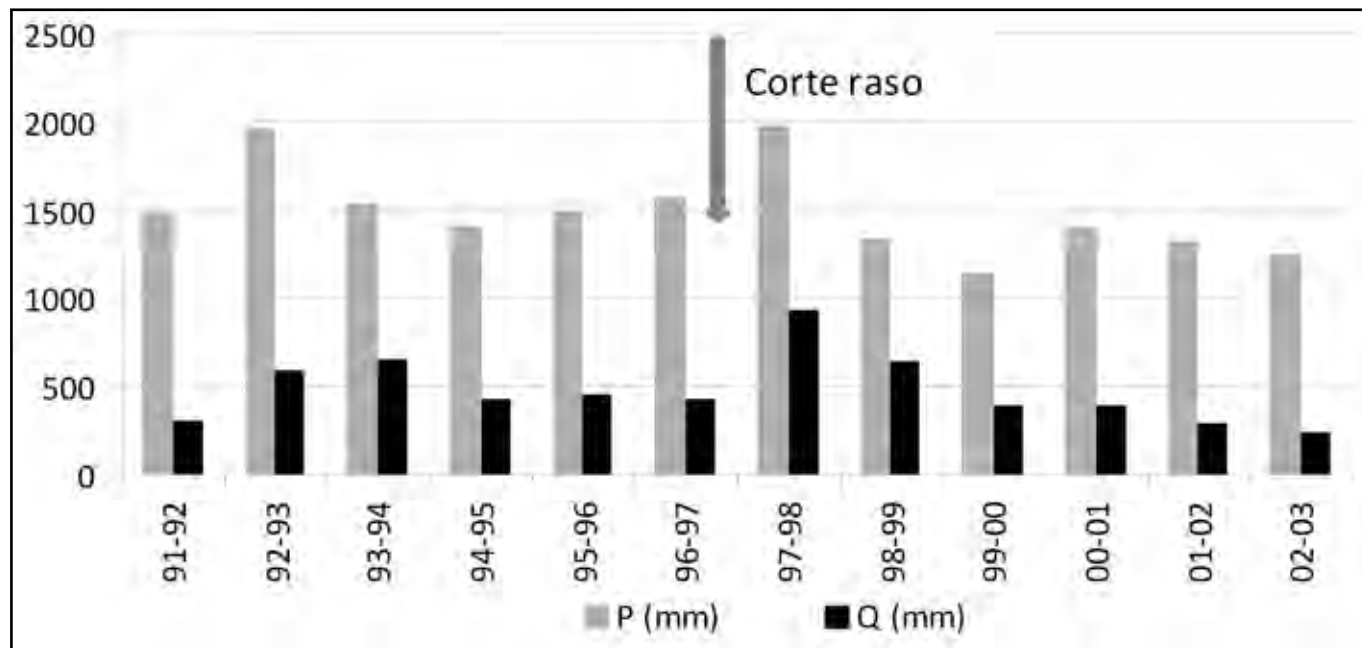
A Figura 4 contém um resumo esquemático dos resultados do monitoramento da microbacia experimental de Santa Branca, no Vale do Paraíba, SP. Os valores em Kg/ha assinalados nos processos da geoquímica da microbacia experimental (entrada pelas chuvas e saída pelo deflúvio) compreendem médias de amostras semanais coletadas durante o período de 1987 a 1995. A plantação de eucalipto foi feita em 1987 e o corte raso em 1994, aos sete anos de idade. Os dados apresentados incluem, portanto, o primeiro ano após o corte raso. Os valores da adubação correspondem à prática convencional de adubação seguida pela empresa, enquanto que os conteúdos de nutrientes trocáveis no solo foram determinados por amostragem específica para esse fim feito na microbacia. Pode-se observar que em termos dos processos naturais de entradas e de saídas de nutrientes pela microbacia o balanço geoquímico é positivo. Já com a exportação de nutrientes devido à colheita florestal, o balanço (biogeoquímico) se torna negativo para todos os nutrientes analisados. Os dados mostram, também, que a prática de descascamento no campo, visando deixar a casca e outros resíduos finos da colheita na área, contribuindo assim para a ciclagem dos nutrientes, consiste em estratégia altamente favorável para a manutenção do potencial produtivo do solo ao longo das sucessivas rotações, além de eventual reflexo positivo em termos de diminuição da necessidade de adubação e calagem.



**Figura 4.** Valores totais, em Kg/ha, dos processos de entrada de nutrientes pelas chuvas, da adição artificial pela adubação no plantio florestal, da saída pelo deflúvio da microbacia, da exportação pela colheita florestal e do estoque de nutrientes trocáveis no solo da microbacia experimental. Valores representam totais para o período de 1987 a 1995. Os valores dos teores trocáveis no solo foram determinados a partir de amostragem do solo da microbacia. Os valores da exportação pela colheita foram determinados por amostragem dos componentes da biomassa. Os valores da entrada pelas chuvas e da saída pelo deflúvio foram obtidos por amostragem semanal da água da chuva e do riacho ao longo do período (VITAL *et al.*, 1999).

A Figura 5, por outro lado, mostra os resultados do monitoramento da microbacia experimental de Itatinga, abrangendo o período de 1991 a 2003. Durante o período inicial de 1991 a 1998, a cobertura florestal da microbacia consistia de rebrota de uma plantação de *Eucalyptus saligna* feita há cerca de 50 anos, a qual foi cortada em corte raso em agosto de 1998. Logo após o corte raso foi feito novo plantio com a mesma espécie.

Pode-se observar que no primeiro período (antes do corte) o deflúvio anual (Q) da microbacia encontrava-se estável e em fase com a variação da precipitação anual. O corte raso, aliado a uma precipitação anual acima da média ocorrida no ano do corte, resultou num aumento considerável do deflúvio no ano hídrico 1997-1998. Com o crescimento do novo plantio, pode-se observar a tendência de diminuição do deflúvio anual da microbacia. Este comportamento hidrológico da microbacia está de acordo com resultados recentes da literatura (VERTESSY *et al.*, 2001; BROWN *et al.*, 2005; FARLEY *et al.*, 2007), os quais mostram que o deflúvio anual da microbacia apresenta tendência de retorno às condições de equilíbrio, que prevaleciam antes do plantio, com o aumento da idade da plantação florestal.

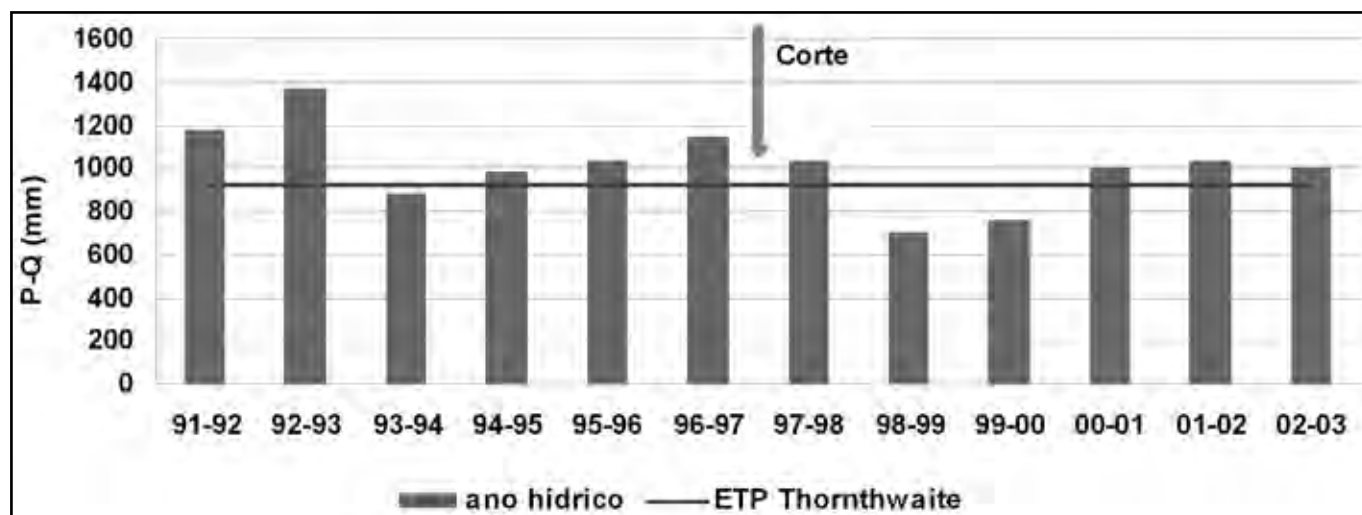


**Figura 5.** Série histórica do balanço hídrico da microbacia experimental de Itatinga para os períodos “antes” e “depois” do corte raso de uma rebrota de *Eucalyptus saligna* plantada há mais de 50 anos, seguido de novo plantio da mesma espécie no ano seguinte após o corte raso.

Levando em conta esta série histórica relativamente grande de dados contínuos de monitoramento hidrológico em Itatinga, um outro aspecto bastante interessante que os dados permitem inferir é quanto ao balanço hídrico da microbacia, ou seja, quanto à diferença entre precipitação anual (P) e deflúvio anual (Q). Desprezando a variação de armazenamento, o que em termos médios anuais e para um período longo de dados não tem nenhuma implicação quantitativamente significativa, esta diferença (P - Q) corresponde à evapotranspiração na escala da microbacia (Figura 6).

O processo de evapotranspiração constitui componente chave na redistribuição de água e de energia no sistema solo-planta-atmosfera e as tentativas para sua estimativa constituem uma literatura muito rica, com inúmeros modelos já desenvolvidos e testados em diferentes condições. Esta riqueza de métodos disponíveis para a estimativa da evapotranspiração em tese facilitaria, sem dúvida, o desenvolvimento de modelos hidrológicos de avaliação da relação chuva-vazão na escala das microbacias experimentais do programa. Todavia, a maioria destas equações empíricas produz valores consistentes de estimativa da evapotranspiração válidos para a escala pontual ou de parcelas onde os dados de clima são coletados e o escalonamento destas estimativas pontuais para a escala da microbacia, ou para a escala regional, é complicado devido à variabilidade espacial e temporal da evaporação. Além disto, os valores da evapotranspiração potencial estimados, por exemplo, pela equação de Penman-Monteith, a partir de dados climáticos coletados em estações meteorológicas automáticas, apresentam, normalmente, uma enorme variação diária, causando também variações nos totais mensais e anuais (OUDIN *et al.*, 2005a). Por outro lado, para a estimativa da evapotranspiração real na escala da microbacia, os modelos hidrológicos usam normalmente as estimativas de evapotranspiração potencial, mas a diferença entre estes dois processos também varia com a água disponível no solo (OUDIN *et al.*, 2005b). Em recente trabalho, Oudin *et al.* (2005c) verificaram que o uso de um valor médio anual da evapotranspiração potencial, derivado basicamente a partir de informações climáticas, como é, por exemplo, a estimativa do balanço hídrico climático obtida pelo método de Thornthwaite, produz resultados consistentes na modelagem hidrológica na escala de microbacias. Esta possibilidade é extremamente interessante quando se leva em conta a dificuldade normal de se dispor de estações meteorológicas automáticas e as frequentes falhas nos dados climáticos disponíveis.

No caso da série histórica do monitoramento de chuva e vazão da microbacia experimental de Itatinga, a Figura 6 mostra a variação anual da diferença entre a precipitação anual e o deflúvio anual da microbacia ao longo do período 1991 – 2003, relativamente ao valor médio anual da evapotranspiração potencial obtida pelo método de Thornthwaite, como normal climática para um período de 30 anos, que é de 920 mm (<http://www.lce.esalq.usp.br/bhbrasil/>). A média anual da diferença (P – Q) medida na microbacia para o período estudado corresponde a 1009 mm, mas os valores anuais do balanço de massa da microbacia variam, conforme observado também por Oudin *et al.*, 2005a.



**Figura 6.** Valores anuais da diferença entre a precipitação anual (P) e o deflúvio anual (Q) da microbacia experimental de Itatinga, relativamente à estimativa da evapotranspiração potencial de Thornthwaite.

Resultados semelhantes podem ser verificados com outras microbacias experimentais do programa que já apresentam série histórica de dados suficientes para essa verificação, conforme resumido na Tabela 1:

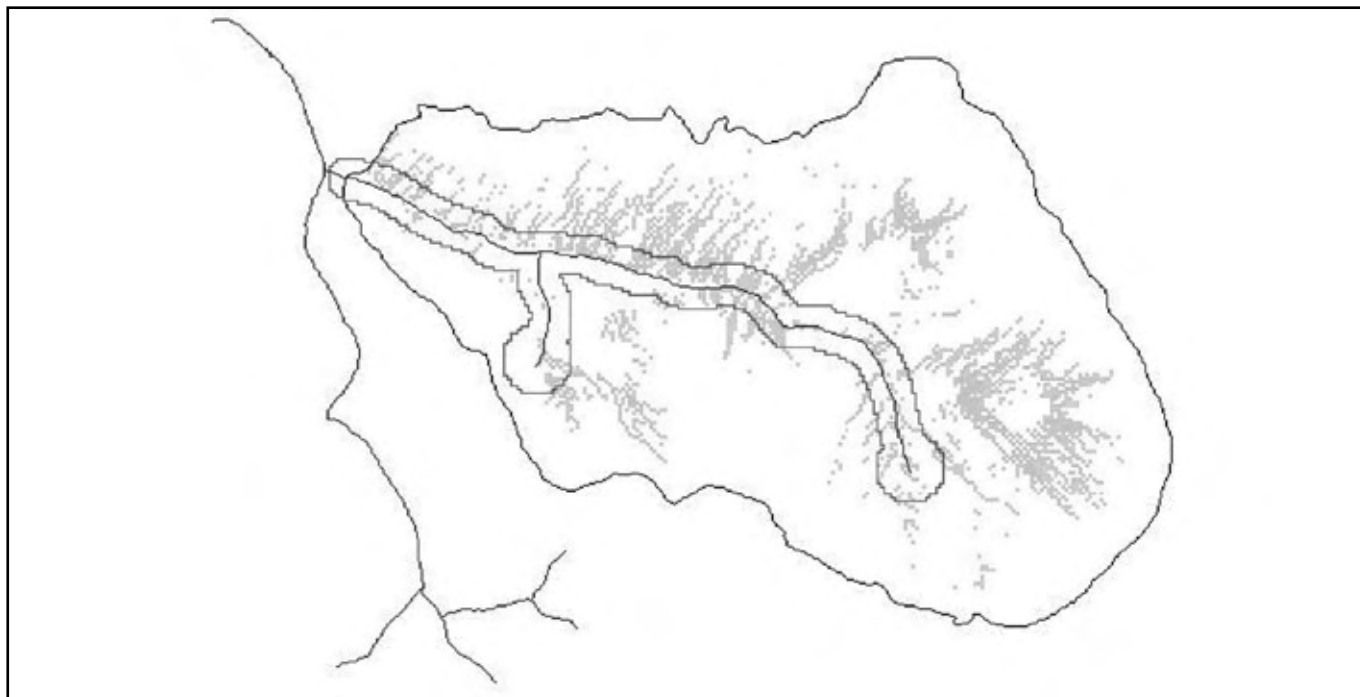
**Tabela 1.** Valores médios anuais da diferença (P – Q) de microbacias experimentais do PROMAB, relativamente ao valor médio anual da Evapotranspiração Potencial climática estimada pelo Método de Thornthwaite (ETP).

Localização da microbacia	(P – Q) (mm)	Período (anos)	ETP (mm)	Período (anos)
Santa Branca, SP	1190	8	960	30
Aguai, SP	1045	4	1030	30
Alagoinhas, BA	1105	10	1246	30

E a Figura 7 ilustra um dos resultados mais importantes, em termos práticos, do trabalho desenvolvido na microbacia experimental de Arapoti, no Paraná. A figura consiste do mapa, sem escala, da microbacia experimental, com área de 62 hectares. A área verde corresponde à localização das áreas ripárias da microbacia, obtida pela aplicação de modelo hidrológico, cujos parâmetros básicos são a topografia e a condutividade hidráulica do solo. Do ponto de vista da manutenção da saúde hidrológica da microbacia e da qualidade da água, a proteção dessas áreas ripárias tem sido reconhecida como estratégia das mais importantes. Em comparação, a figura mostra, também, a delimitação das Áreas de Preservação Permanente prevista no Código Florestal, que em tese desempenhariam a mesma função. Em termos da proporção das áreas ripárias (verde) e da área da APP (vermelho), relativamente à área total da microbacia, as duas são mais ou menos equivalentes (aproximadamente 12%). Todavia, a similaridade pára aí. Do ponto de vista de proteção das partes hidrologicamente críticas das cabeceiras de drenagem, por exemplo, os 50 m de raio ao redor da nascente ditados pelo Código Florestal não cumpririam, neste caso, nenhuma função, uma vez que a área crítica de cabeceira de drenagem encontra-se localizada fora desse raio.

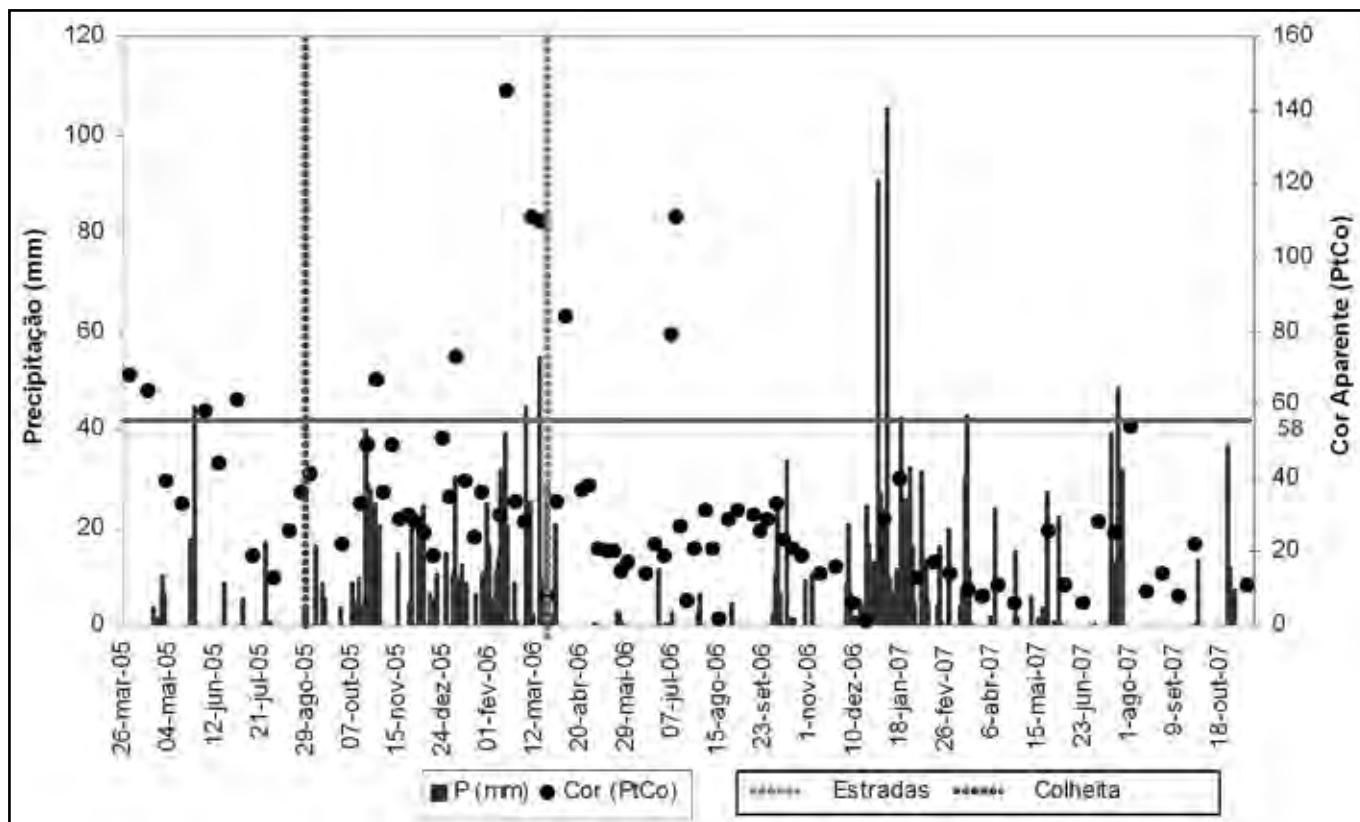
Sem dúvida que é imperativo avançar com esta linha de pesquisa hidrológica na escala de microbacias hidrográficas, assim como com a implementação desses conhecimentos atuais no atual arcabouço da legislação ambiental e em políticas públicas de manejo sustentável dos recursos hídricos. Para muitas pessoas choca, por exemplo, a afirmação de que a restauração de matas ciliares, seguindo principalmente os limites simétricos das margens dos rios e das cabeceiras de drenagem estabelecidos pelo Código Florestal, não constitui medida consistente de proteção dos recursos hídricos. Realmente, com base no que a Figura 7 permite concluir, a área que deveria ser protegida pela vegetação ciliar é diferente em termos de sua localização espacial na microbacia. Neste sentido, pode-se depreender que o novo texto inserido no âmbito dos Artigos

2º e 3º do Código Florestal pela Medida Provisória N° 2166-67, de 24 de agosto de 2001, constitui avanço conceitual significativo, quando define, para o efeito da lei, "Área de Preservação Permanente como sendo a área (grifo nosso) protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas". É preciso, agora, avançar nesse aprimoramento desvinculando essa expressão "a área" (que evidentemente devem ser as áreas ripárias das microbacias) dos limites arbitrários e simétricos estabelecidos em função da largura dos rios. Este enfoque, sem dúvida, é muito mais natural, consistente e eficaz do que o simples plantio de espécies florestais nativas para a restauração das matas ciliares dentro dos limites simétricos das Áreas de Preservação Permanente (AYLWARD, 2005; AGNEW *et al.*, 2006; TETZLAFF *et al.*, 2007).



**Figura 7.** Mapeamento das áreas ripárias (em verde) de uma microbacia experimental, em comparação com a delimitação das Áreas de Proteção Permanente (em vermelho) ditada pelo Código Florestal (ZAKIA, 2006).

Outra ferramenta importante de que se dispõe hoje, em termos de monitoramento ambiental, a qual foi desenvolvida gradativamente ao longo dos vinte anos do PROMAB, diz respeito à qualidade da água. Normalmente, a relação entre a cobertura florestal e a qualidade da água nas microbacias hidrográficas é positiva, ou seja, a água que emana de microbacias florestadas é em geral de boa qualidade, com níveis baixos de concentração de sedimentos e de nutrientes. Esta expectativa tem sido confirmada nos resultados obtidos nas microbacias experimentais contendo plantações florestais do programa cooperativo e este resultado geral do programa de monitoramento constitui, sem dúvida, informação das mais relevantes. Todavia, no caso do manejo de plantações visando à produção florestal, existem impactos hidrológicos potenciais decorrentes das operações florestais, especialmente em termos de abertura e manutenção de estradas, plantio, colheita, adubação etc. (HOPMANS e BREN, 2007). Estes impactos também têm sido observados nas microbacias experimentais do PROMAB, constituindo, inclusive, um dos critérios para a seleção de indicadores hidrológicos do bom manejo. Em outras palavras, da mesma forma que não se deve esperar que as plantações florestais vão influenciar a qualidade da água, no sentido de produzir, "per se", alterações em seus parâmetros químicos, físicos e biológicos, tampouco se deve esperar que as práticas de manejo mencionadas vão causar alterações em todos os parâmetros de qualidade da água. Assim, os parâmetros que apresentam nítida relação de causa-e-efeito com as operações de manejo passam, nesse sentido, a se constituir em indicadores da qualidade dessas práticas de manejo. Essa é a conotação que acabou sendo desenvolvida ao longo do processo de monitoramento nas microbacias experimentais, que em suma utiliza parâmetros de qualidade da água para aferir a qualidade das operações florestais, conforme ilustrado na Figura 8. Neste caso o parâmetro monitorado é a cor aparente da amostra de água coletada periodicamente no vertedor, parâmetro este que está relacionado com o aumento do aporte de matéria orgânica na água. Pode-se observar, na Figura 8, que em condições normais, ou seja, quando não há a ocorrência de práticas operacionais de manejo na microbacia, os valores se mantêm dentro dos limites normais de sua variabilidade natural. Por outro lado, os resultados que ultrapassam esses limites em consequência ou de eventos chuvosos mais intensos, ou de práticas operacionais de manejo, tendem, em geral, a voltar rapidamente aos níveis normais de variação.

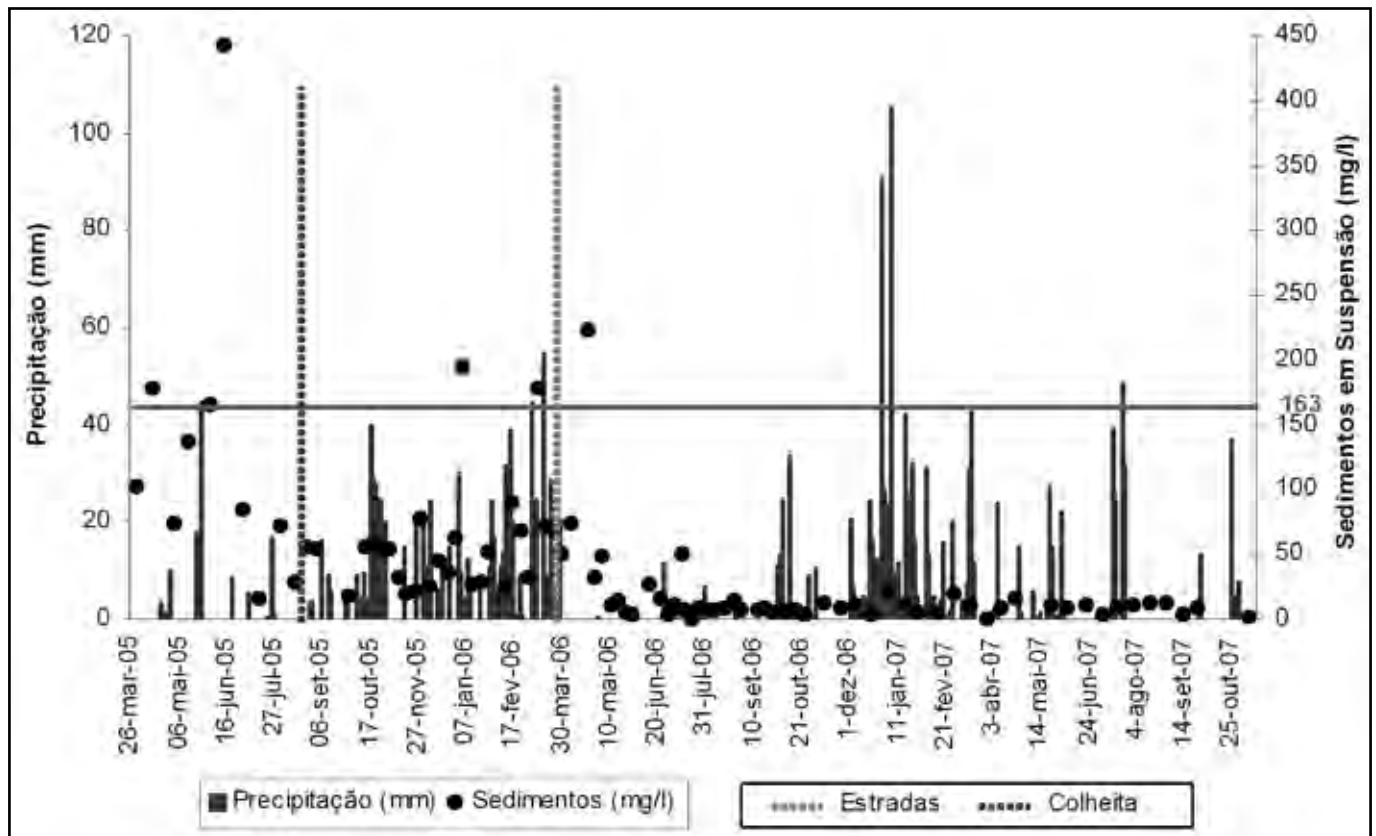


**Figura 8.** Série histórica dos dados de precipitação mensal (P) e dos valores médios mensais de cor aparente de amostras de água do riacho coletadas semanalmente no vertedor de uma das microbacias experimentais do PROMAB. As linhas verticais em vermelho indicam a época de ocorrência das operações florestais mencionadas na legenda da figura e a linha horizontal verde corresponde ao limite de estabilidade desta variável.

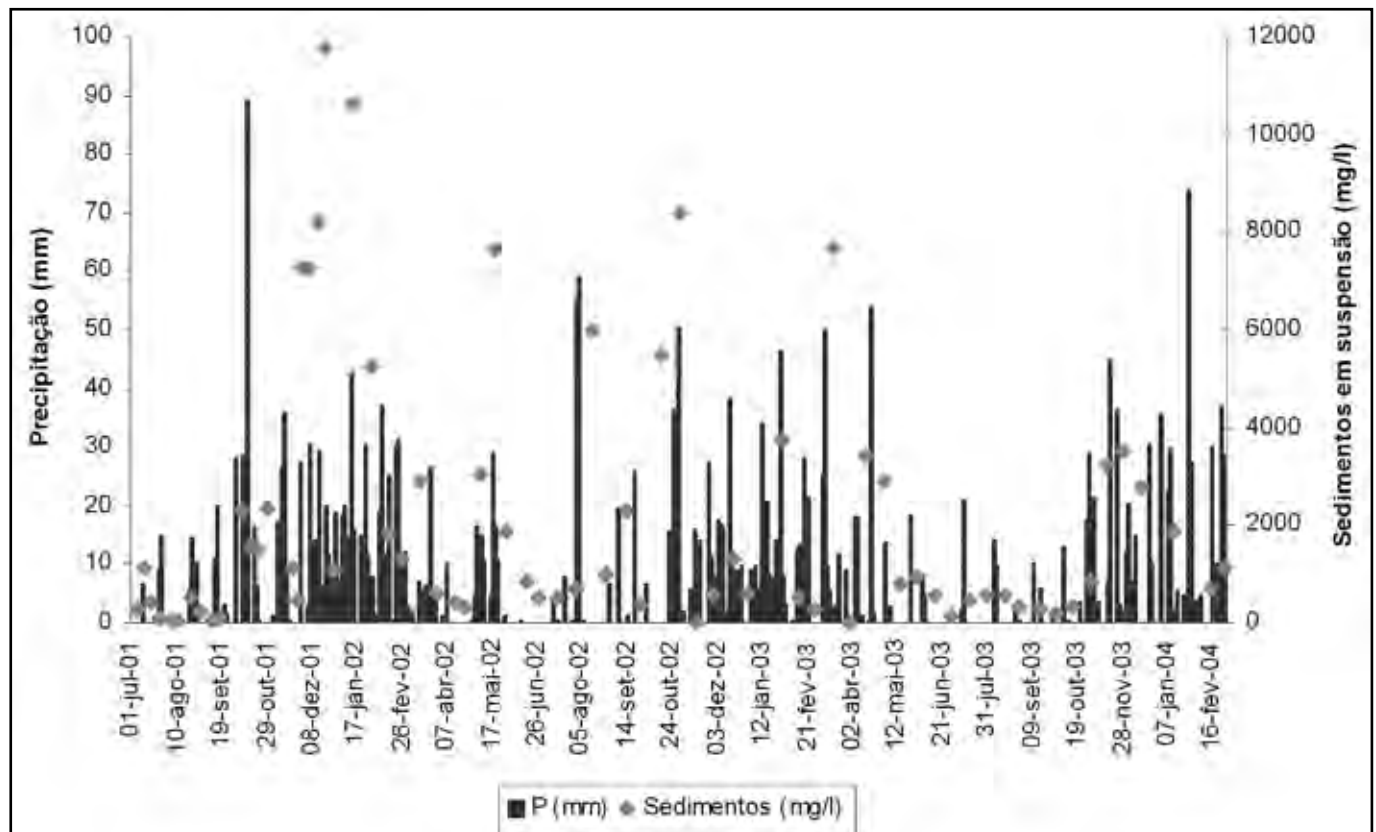
A título de comparação, as Figuras 9, 10 e 11 ilustram as séries históricas do monitoramento da concentração de sedimentos finos no riacho das microbacias experimentais, comparativamente entre plantações florestais de eucalipto, cobertura de pastagem degradada e mata nativa. É preciso observar, no caso desta comparação, as respectivas escalas das figuras. No caso da microbacia com pastagem degradada (Figura 10), os valores da concentração de sedimentos são exageradamente elevados quase o tempo todo. No caso da microbacia com floresta nativa, observa-se elevada variabilidade dos resultados, porém todos, em geral, situando-se abaixo de 35 mg/l. Na Figura 9, com eucalipto, pode-se observar que os resultados também se mantêm em níveis similares, a não ser quando da ocorrência de chuvas intensas e de práticas operacionais de manejo, ainda assim a maioria desses valores elevados se mantêm abaixo do limite de estabilidade.

Como corolário, um ponto de extrema importância desta relação entre operações de manejo e ocorrência de impactos, aferidos por parâmetros de qualidade da água, reside no fato de que tais impactos podem, normalmente, ser minimizados, ou mesmo eliminados, por estratégias de manejo que protejam adequadamente as zonas ripárias das microbacias, a fim de que elas possam desempenhar eficazmente sua função de tamponamento desses eventuais impactos. Em condições naturais, o funcionamento dos ecossistemas, como é o caso do geossistema microbacia hidrográfica, caracteriza-se por ciclos contínuos de flutuação de suas propriedades (a concentração de nutrientes na água do riacho, por exemplo) e esta flutuação guarda um padrão previsível, como é o caso da influência dos eventos de chuva de alta intensidade. A linha horizontal verde da Figura 8, neste sentido, pode ser entendida como indicadora do intervalo de variação desta flutuação natural. No presente caso, ela foi estabelecida pelo tratamento estatístico de inferência não paramétrica da série histórica de dados, precedidos por testes de verificação das pressuposições do modelo adotado que envolveu: teste de Dixon-Grubbs-Neuman, para o tratamento de dados discrepantes ou *outliers*, teste de Kolmogorov-Smirnov, para verificação da normalidade, e teste de Cochran, para verificação da homogeneidade das variâncias. Estes procedimentos permitiram, então, o estabelecimento dos limites inferior e superior da flutuação do parâmetro, ou seja, dos “limites de estabilidade”, adotando-se metodologia padrão da construção de cartas de controle para médias. Quando o sistema é submetido a algum estresse, como é o caso da colheita florestal, por exemplo, esta alteração provoca uma perturbação nesse padrão natural, fazendo com que os parâmetros indicadores ultrapassem o limite superior de estabilidade. Por sua vez, a resiliência, ou a assim chamada saúde da microbacia hidrográfica, garante a eliminação gradativa desta perturbação, ou o

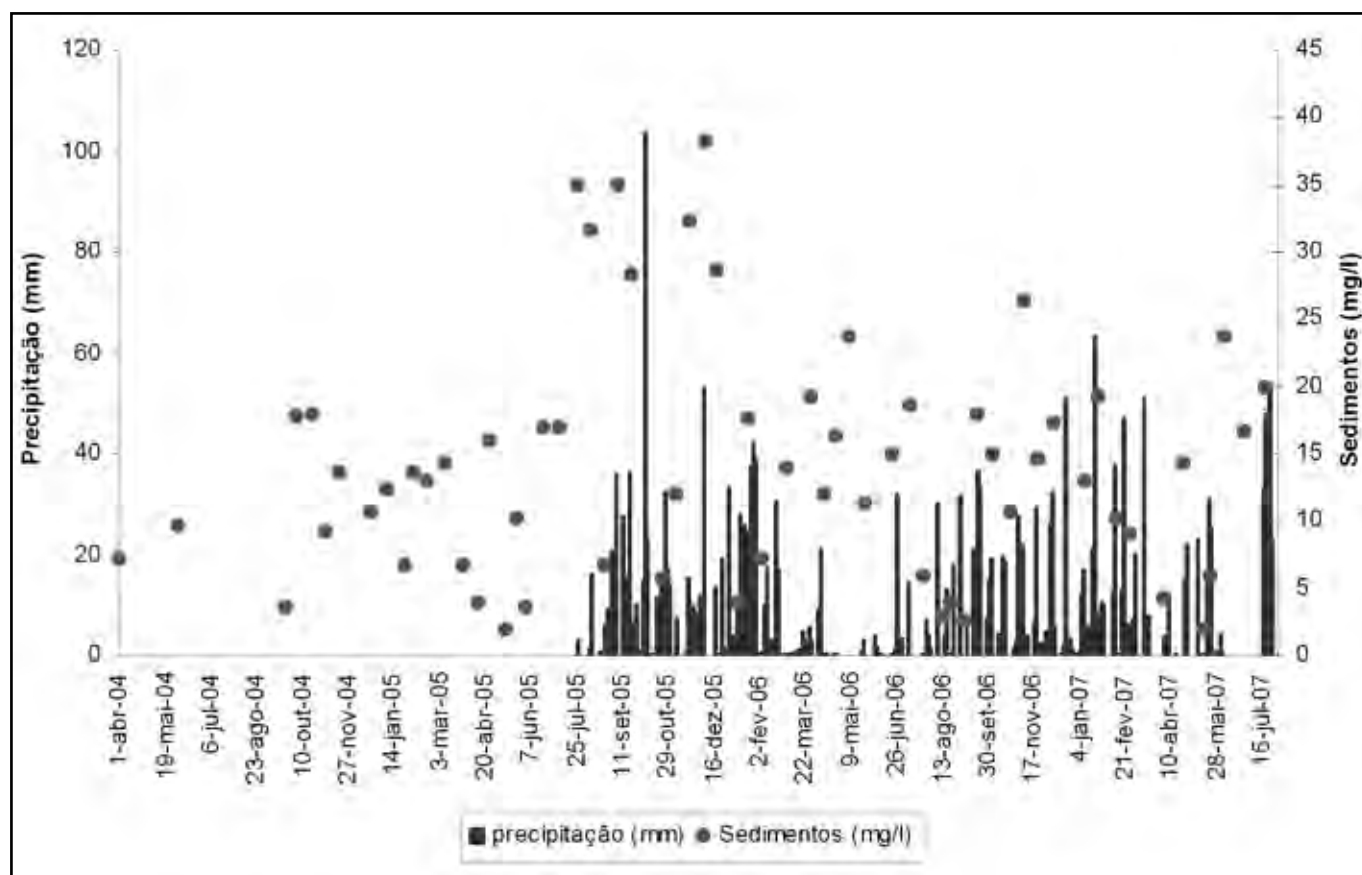
retorno às condições originais. Ou seja, mantém a reversibilidade dos impactos. No caso de microbacias, a manutenção de sua resiliência ou saúde hidrológica está fortemente dependente da proteção adequada de suas áreas ripárias, dentro do enfoque hidrológico de ocorrência natural destas áreas mostrado na Figura 7.



**Figura 9.** Série histórica dos resultados do monitoramento da concentração de sedimentos em microbacia experimental com plantação de eucalipto.



**Figura 10.** Série histórica dos resultados do monitoramento da concentração de sedimentos em microbacia experimental com cobertura de pastagem degradada.



**Figura 11.** Série histórica dos resultados da concentração de sedimentos em microbacia experimental com cobertura de floresta nativa. (Limites de estabilidade ainda não estabelecidos devido ao curto período de monitoramento).

14

Em termos globais e levando em conta os diferentes períodos de monitoramento das microbacias experimentais do programa, a Tabela 2 resume os resultados globais da determinação dos limites estatísticos de estabilidade das várias microbacias.

**Tabela 2.** Limites Extremos de Estabilidade, segundo a cobertura florestal das microbacias experimentais. Os limites da microbacia com floresta nativa dizem respeito a apenas uma microbacia e com apenas dois anos de monitoramento. Os limites para microbacias com plantações florestais englobam sete microbacias com eucalipto e duas microbacias com pinus, pertencentes ao PROMAB. Os limites da coluna “Média Geral” englobam todo o conjunto das microbacias experimentais.

Variáveis	Floresta			Média Geral
	Nativa	Eucalipto	Pinus	
Nitrato	0,00 <> 2,59	0,22 <> 2,30	0,15 <> 1,79	0,12 <> 2,23
Fósforo	0,01 <> 0,08	0,00 <> 0,24	0,00 <> 0,59	0,00 <> 0,30
Potássio	0,28 <> 2,59	0,29 <> 1,56	0,16 <> 2,46	0,24 <> 2,20
Cálcio	0,55 <> 2,66	0,88 <> 2,63	0,61 <> 3,84	0,68 <> 3,04
Magnésio	0,32 <> 1,58	0,24 <> 1,04	0,31 <> 1,45	0,29 <> 1,36
pH	6,62 <> 7,31	5,05 <> 7,15	6,18 <> 7,06	5,95 <> 7,17
Condutividade	0,04 <> 0,08	0,02 <> 0,08	0,04 <> 0,08	0,03 <> 0,08
Sedimentos	0,00 <> 48,30	1,62 <> 65,48	0,71 <> 134,26	0,78 <> 82,68
Turbidez	0,00 <> 20,37	0,00 <> 37,05	0,3 <> 27,98	0,10 <> 28,47
Cor	ND	0,19 <> 87,61	0,00 <> 84,13	0,10 <> 85,87

ND = Não disponível.

Dois aspectos importantes devem ser realçados no exame da Tabela 2. Primeiro com relação à comparação entre os limites válidos para microbacias testemunhas, contendo cobertura de floresta nativa e os limites de microbacias com plantações florestais de eucalipto e de pinus, que se mostram bastante similares. Nesse sentido, é necessário ter em conta que os padrões para microbacias com nativas são ainda incipientes, já que foram obtidos em apenas uma microbacia testemunha e com apenas dois anos de monitoramento. Um segundo aspecto diz respeito aos parâmetros sedimentos, turbidez e cor, comparativamente entre a microbacia

com nativa e as com plantações florestais. Como já comentado, estratégias de manejo que contribuam para a diminuição dessa diferença constituem medidas que inserem a conservação do solo e da água no manejo sustentável de florestas plantadas.

Uma questão de extrema importância que o programa de monitoramento deve considerar, inclusive como análise preliminar para futuros trabalhos de modelagem do comportamento hidrológico das microbacias experimentais, diz respeito à verificação de possíveis similaridades ou agrupamentos das microbacias localizadas em diferentes condições de solo e clima. É claro que se deve ter em mente o fato reconhecido de que cada microbacia hidrográfica é diferente uma da outra, o que não impede, todavia, de que o padrão de resposta de algumas variáveis possa guardar similaridades entre elas. As Tabelas 3 e 4, e a Figura 12 contêm os resultados da análise de agrupamentos realizada a partir dos limites superiores de estabilidade de todas as variáveis (indicadores) monitoradas.

**Tabela 3.** Limites superiores de estabilidade segundo as variáveis e as microbacias.

Localização	Variáveis									
	N	P	K	Ca	Mg	pH	Cond.	Sed.	Turb.	Cor
	mg/L					-	mS/cm	mg/L	FTU	PtCo
<b>Mata Nativa</b>										
Telêmaco Borba, PR	2.59	0.08	2.59	2.66	1.58	7.3	0.08	48.30	20.37	42.15
<b>Pinus</b>										
Arapoti, PR	1.62	0.07	1.75	0.83	1.35	6.8	0.08	23.57	10.22	44.12
Telêmaco Borba, PR	1.79	0.12	1.80	3.60	1.55	7.4	0.08	28.30	13.20	45.63
<b>Eucalipto</b>										
Bofete, SP	2.07	0.12	0.78	0.91	0.22	7.4	0.05	163.41	67.11	58.36
Capão Bonito, SP	3.45	0.17	1.18	2.75	1.46	7.1	0.07	48.40	57.88	97.29
Alagoinhas, BA	2.79	0.42	0.62	0.53	1.06	7.3	0.08	67.92	14.90	75.41
Itatinga, SP	0.89	0.25	0.36	1.19	0.55	6.9	0.07	18.80	11.41	29.88
Luís Antônio, SP	2.93	0.29	1.33	2.98	0.62	6.5	0.09	10.15	8.52	12.68
Aguai, SP	3.44	0.17	2.76	8.58	1.76	7.6	0.10	85.23	68.12	198.87
Nova Viçosa, BA	0.96	0.56	1.82	1.44	1.62	7.4	0.07	43.13	11.28	115.77

**Tabela 4.** Resumo dos valores da Distância Euclidiana Multivariada.

MB*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.00	2.59	1.57	5.54	3.05	3.81	4.64	4.14	5.04	4.20
2	2.59	0.00	2.28	5.69	3.66	3.78	2.96	3.08	6.67	4.19
3	1.57	2.28	0.00	5.57	3.20	3.41	3.69	3.91	5.39	3.59
4	5.54	5.69	5.57	0.00	4.52	4.79	5.05	6.42	7.54	6.06
5	3.05	3.66	3.20	4.52	0.00	3.17	4.50	4.27	4.85	4.48
6	3.81	3.78	3.41	4.79	3.17	0.00	3.48	3.82	6.31	3.25
7	4.64	2.96	3.69	5.05	4.50	3.48	0.00	3.40	8.02	4.24
8	4.14	3.08	3.91	6.42	4.27	3.82	3.40	0.00	7.07	5.23
9	5.04	6.67	5.39	7.54	4.85	6.31	8.02	7.07	0.00	6.43
10	4.20	4.19	3.59	6.06	4.48	3.25	4.24	5.23	6.43	0.00

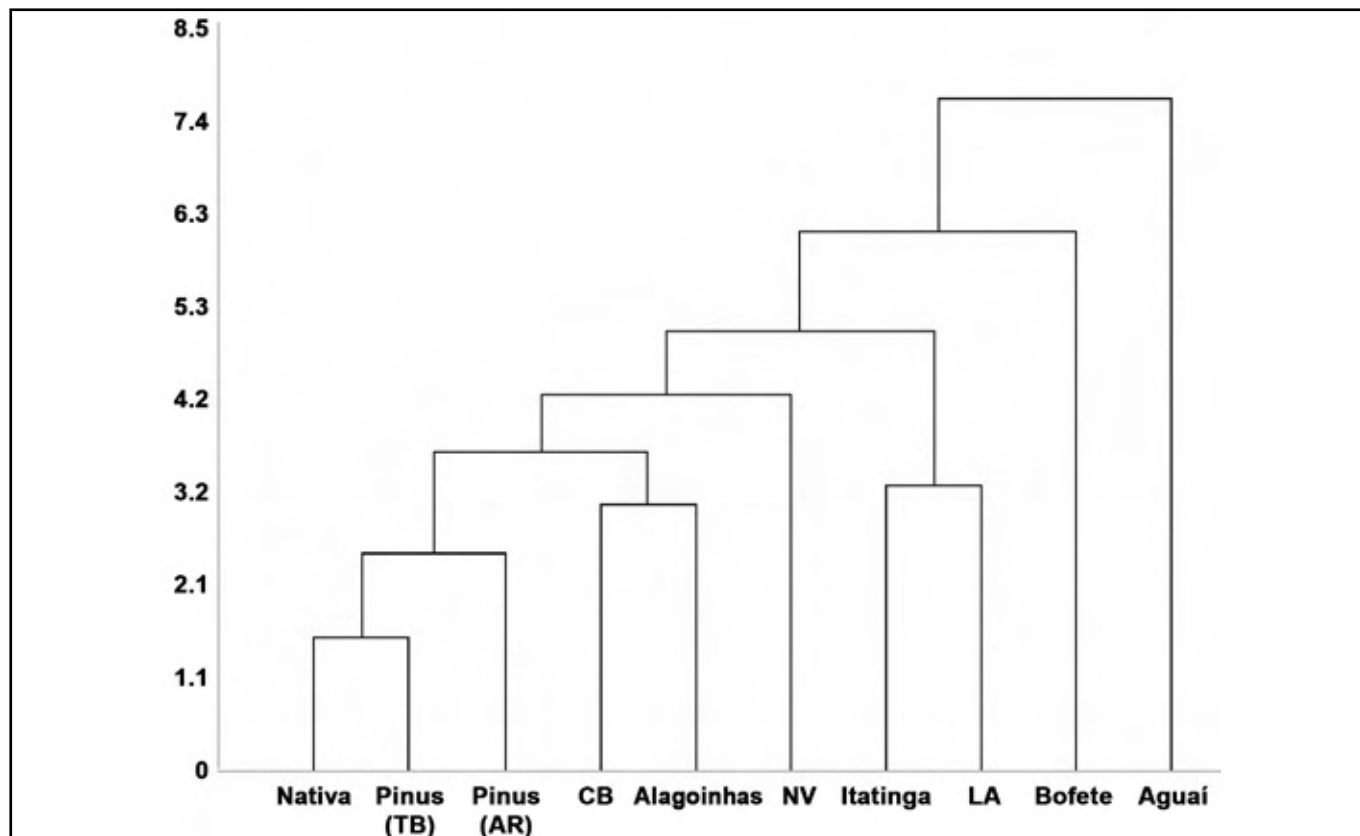
Menor Distância: 1 (Mata Nativa, Telêmaco Borba, PR) e 3 (Pinus, Telêmaco Borba, PR) = 1,57

Maior Distância: 7 (Eucalipto, Itatinga, SP) e 9 (eucalipto, Aguai, SP) = 8,02

\*1 = Mata Nativa (Telêmaco Borba, PR); 2 = Pinus (Arapoti, PR); 3 Pinus (Telêmaco Borba, PR); 4 = eucalipto (Bofete, SP); 5 = eucalipto (Capão Bonito, SP); 6 = eucalipto (Alagoinhas, BA); 7 = eucalipto (Itatinga, SP); 8 = eucalipto (Luís Antônio, SP); 9 = eucalipto (Aguai, SP); 10 = eucalipto (Nova Viçosa, BA).

Os resultados da aplicação da técnica estatística da Distância Multivariada Euclidiana com os dados globais das microbacias experimentais estão resumidos, de forma quantitativa das distâncias entre as microbacias, na Tabela 4. Esses dados permitem, também, a elaboração do chamado dendrograma (Figura 12), o qual facilita a visualização comparativa dessas distâncias através das alturas das hastes, que estão na mesma escala das distâncias Euclidianas correspondentes. Pode-se verificar que as microbacias do Paraná, Telêmaco Borba e Arapoti, uma com floresta nativa (Nativa) e as outras duas com plantações de *Pinus* (*Pinus* (TB) e *Pinus* (AR)), foram as que apresentaram menor distância, podendo-se considerá-las agrupadas. Para o Estado de São Paulo, a microbacia de Aguai destaca-se de todas as demais, inclusive tendo apresentado a maior distância Euclidiana entre a microbacia de Itatinga. Mas exceção feita à microbacia de Capão Bonito (CB), a aproximação entre elas pode ser considerada boa. Esses resultados preliminares parecem promissores e é possível que os resultados adquiram maior consistência na medida em que as séries históricas acumulem maior quantidade de resultados do monitoramento.





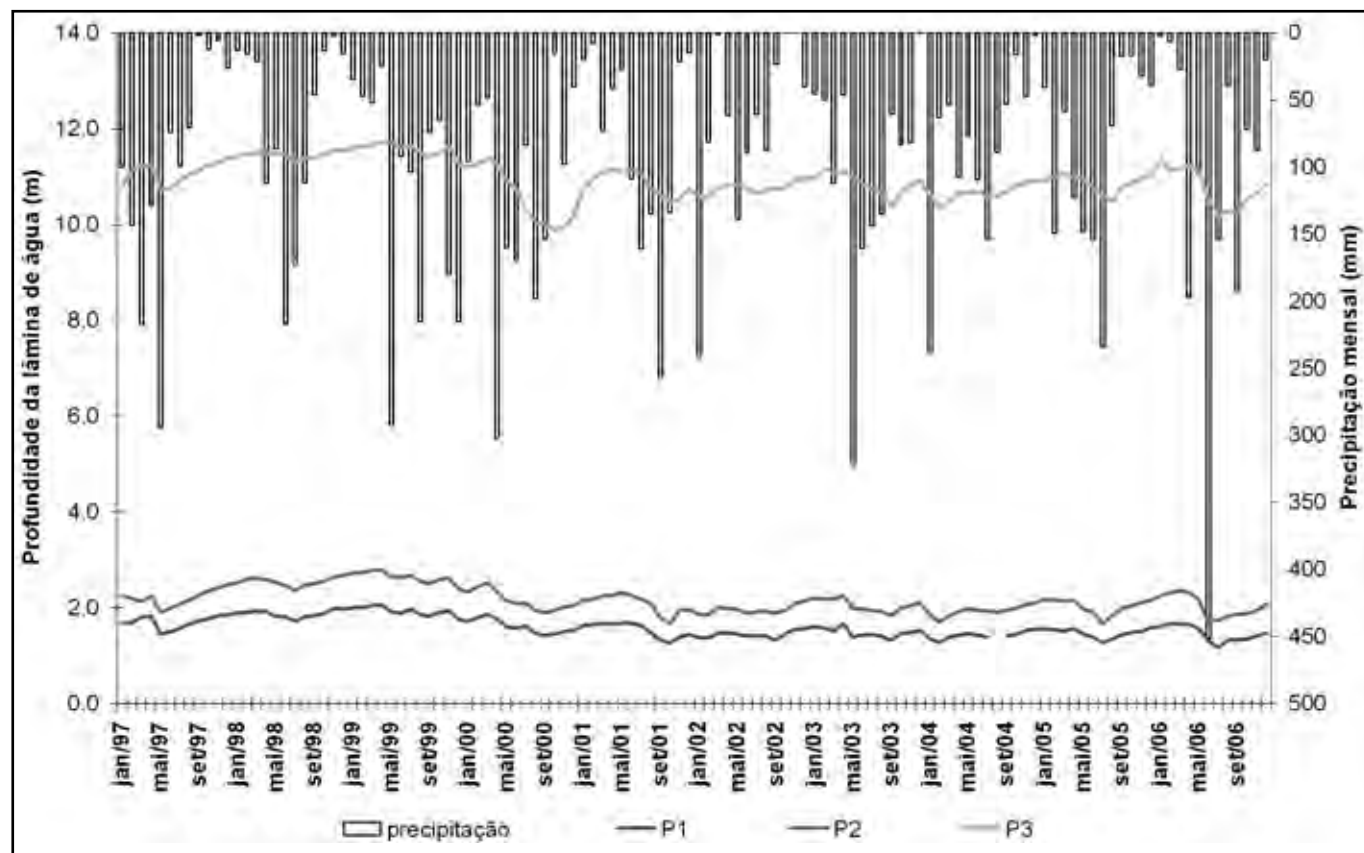
**Figura 12.-** Agrupamento das microbacias experimentais considerando todas as variáveis do monitoramento.

Com relação ao monitoramento do nível do lençol freático, ainda são poucas as microbacias experimentais do PROMAB que incluem essa variável e, portanto, não é ainda possível fazer generalizações. A série histórica da microbacia de Alagoinhas, BA, de qualquer maneira, mostrada na Figura 13, permite verificar o comportamento do nível freático em três piezômetros construídos em três posições ao longo de uma das encostas da microbacia experimental: Poço 1 – localizado junto ao riacho; Poço 2 – localizado na meia encosta, ainda dentro da Área de Preservação Permanente; Poço 3 – localizado no platô, dentro do talhão de eucalipto. As verificações do nível freático nos três poços foram feitas semanalmente durante todo o período mostrado na Figura 13. As profundidades dos poços 1 e 2 são superficiais, evidentemente por estarem mais próximos ao riacho. Já o poço 3 localiza-se a uma distância aproximada de 100 metros do canal, já na parte mais elevada do platô onde está a plantação de eucalipto, o que explica sua maior profundidade, relativamente ao nível da superfície. O que se pode observar nesta Figura 13 é que o nível freático flutua essencialmente em função das chuvas, flutuação essa que guarda, inclusive, um padrão similar entre os três poços. No caso do poço 3, debaixo do eucalipto, mesmo a colheita do eucalipto nesta microbacia, ocorrida em 1998, praticamente não produziu nenhuma modificação substancial no padrão dessa flutuação.

Um importante produto final dessa análise integrada dos resultados do PROMAB, que tem caráter essencialmente aplicado, foi a elaboração da Tabela 5, cuja versão atual vem sendo incrementada gradativamente desde os primeiros resultados do programa de monitoramento, a qual contém um resumo da interpretação comparativa dos resultados das várias microbacias experimentais do programa. Nesse sentido, a idéia da criação da sigla ReMAM (Rede de Monitoramento Ambiental em Microbacias), como uma das linhas de trabalho do PROMAB, reflete justamente os avanços que permitiram a elaboração desta tabela. A partir de um início onde havia a necessidade de se conhecer o comportamento de uma quantidade enorme de parâmetros de monitoramento, abrangendo todas as microbacias experimentais, visando selecionar possíveis indicadores hidrológicos, pouco a pouco foi possível estabelecer um processo de filtragem dos parâmetros normalmente monitorados, principalmente em função de algumas características básicas de um bom indicador, principalmente no que diz respeito a: custo, entendimento fácil por técnicos e leigos, transparência, relação de causa-e-efeito com as práticas de manejo e de ocorrência similar nas microbacias experimentais da rede, as quais estão localizadas em diferentes condições de clima e solo.

O critério que leva em conta a relação de causa-e-efeito com as práticas de manejo deve ser realçado. Primeiro, conforme já afirmado, em função de que não se deve esperar que as atividades de manejo florestal possam afetar todos os parâmetros químicos, físicos e biológicos da qualidade da água. Desta forma, não faz sentido monitorá-los todos. Mais importante ainda é entender que o objetivo do monitoramento, pela mesma razão, não é necessariamente saber se a qualidade da água está sendo alterada pelas práticas de manejo. Ao contrário, o monitoramento, como ferramenta para a melhoria contínua do manejo, baseia-se no

fato de que algumas práticas de manejo podem resultar em alterações de alguns parâmetros, os quais, nesse sentido, funcionam então como indicadores, não da qualidade da água, mas da qualidade das práticas de manejo. E esta conotação tem significado prático muito importante, pois funciona como ferramenta para a melhoria contínua das práticas de manejo (manejo adaptativo). Por outro lado deve-se levar em conta, evidentemente, que o eventual aumento na concentração de sedimentos, nutrientes e resíduos orgânicos nos riachos que drenam a unidade de manejo florestal pode comprometer a qualidade da água a jusante e essa responsabilidade social também faz parte da busca do manejo sustentável.



**Figura 13.** Série histórica do monitoramento do nível do lençol freático na microbacia de Alagoinhas, comparativamente aos valores da precipitação. O poço 1 localiza-se adjacente ao riacho e o poço 2 a alguma distância do riacho mas ainda dentro da Área de Preservação Permanente. O poço 3 localiza-se no platô, debaixo da plantação de eucalipto. As profundidades dos níveis freáticos são em relação ao nível da superfície do terreno.

Os indicadores para o monitoramento listados na Tabela 2 não devem ser confundidos como garantia de manejo sustentável, já que manejo sustentável é apenas um conceito. Todavia, eles podem contribuir para a garantia da preservação da qualidade ambiental, levando em conta os fatores ambientais considerados. E esta qualidade ambiental é um dos pilares do conceito de manejo sustentável. Da mesma forma, a coluna “Manejo Adaptativo” desta tabela não deve ser entendida como receituário de práticas de bom manejo, mas apenas como critérios conceituais, baseado nos quais é possível identificar medidas mitigadoras visando a diminuição ou a eliminação dos impactos potenciais listados. Evidentemente que estes critérios devem, por natureza, ser materializados em ações práticas de manejo levando em conta as especificidades de cada local.

De acordo com os resultados até agora obtidos no monitoramento de microbacias experimentais do PROMAB, a coluna “Manejo Adaptativo” da Tabela 2 pode ser entendida como uma sugestão de como levar em conta a microbacia (isto é, a manutenção da saúde das microbacias hidrográficas influenciadas pelo manejo florestal) no plano de manejo. Conforme pode ser depreendido, “considerar a microbacia no plano de manejo” implica muito mais do que apenas confeccionar um mapa da área com a identificação de suas microbacias, ou ainda tentar transformar o talhão em microbacia. Mas por outro lado, não se trata, tampouco, de tarefa por demais complexa, pelo contrário. Se alguma complexidade existe, ela fica por conta apenas da dificuldade humana de se embutir essas variáveis ambientais nos modelos econômicos convencionais de tomada de decisões no manejo florestal. Mas esta dificuldade, mais cedo ou mais tarde, terá que ser resolvida. Como afirmado por Narasimhan (2008), talvez a constatação mais importante que resultou do acúmulo do conhecimento sobre o funcionamento da biosfera e dos sistemas biológicos é que a Terra é finita e sua capacidade de manter a vida é crucialmente dependente da delicada inter-relação entre os sistemas biológicos. Absorver essa constatação e desenvolver estratégias sustentáveis de manejo dos recursos naturais e de conservação dos recursos hídricos é questão de sobrevivência.

**Tabela 5.** Relação de causa-e-efeito entre o manejo de florestas plantadas e os possíveis impactos hidrológicos, levando em conta as diferentes escalas, ou níveis de planejamento, nas quais essa relação pode se manifestar, com os respectivos indicadores de monitoramento e critérios conceituais de manejo adaptativo visando à minimização desses impactos.

Escalas	Impactos sobre a Água	Causas Prováveis	Indicadores para o Monitoramento	Manejo Adaptativo	
MACRO	Disponibilidade de água	Desmatamento / Reflorestamento	Balanco Hídrico regional	<ul style="list-style-type: none"> <li>Análise das condições do meio físico;</li> <li>Espaçamento;</li> <li>Fisiologia dos clones;</li> <li>Desenhos dos talhões e taxa de ocupação das fazendas.</li> </ul>	
	Atributos da paisagem e biodiversidade	Grandes extensões de florestas plantadas	Zoneamento ecológico	<ul style="list-style-type: none"> <li>Agregar resiliência ao ecossistema ripário:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- APP x Áreas ripárias;</li> <li>- Minimizar travessias de cursos d'água;</li> <li>- Eliminar corredores de contorno da APP;</li> <li>- Distância mínima das estradas em relação aos canais;</li> <li>- Sistemas de plantio conservacionistas;</li> <li>- Colheita de baixo impacto;</li> <li>- Desenho da malha viária.</li> </ul> </li> </ul>	
	MESO	Degradação da microbacia hidrográfica	Destruição dos ecossistemas ripários	Condições das áreas ripárias	
Estradas inadequadas			Desenho do sistema viário		
Compactação do solo		Infiltração			
Erosão		Práticas de conservação dos solos			
MICRO	Balanco hídrico da microbacia e regime de vazão	Plantações florestais	Vazão e precipitação e nível do lençol freático	<ul style="list-style-type: none"> <li>Densidade de plantio por microbacia;</li> <li>Período de rotação;</li> <li>Época e métodos de fertilização;</li> <li>Silvicultura de precisão;</li> <li>Cultivo mínimo;</li> <li>Taxa de corte raso por microbacia;</li> <li>Ciclagem de nutrientes;</li> <li>Biodiversidade;</li> <li>Compactação do solo;</li> <li>Sistemas agroflorestais;</li> <li>Queimadas.</li> </ul>	
		Eutrofização	Concentração de N e P na água dos riachos		
	Assoreamento dos cursos d'água	Erosão e sedimentação	Turbidez, sedimentos em suspensão		
		Perda de nutrientes	Erosão e corte raso da floresta	Condutividade elétrica, biogeoquímica da microbacia: N, P, K, Ca e Mg	
		Material orgânico	Decomposição de resíduos vegetais nos cursos d' água	Oxigênio dissolvido, cor da água	

## 5. Conclusão

Levando em conta a análise global dos resultados até agora alcançados e considerando os indicadores hidrológicos estabelecidos nas hipóteses do PROMAB, é possível concluir o seguinte:

- a) Balanço hídrico da microbacia hidrográfica: os resultados obtidos nas microbacias experimentais do PROMAB têm sido similares ao que vem sendo verificado em microbacias experimentais em outros países. Na microbacia pioneira do programa, por exemplo, cuja área era de apenas 7,5 hectares, a diminuição gradativa do deflúvio anual chegou mesmo ao ponto de secar o riacho por ocasião da idade de colheita da plantação, tendo a vazão, todavia, retornada após o corte. Esta possibilidade pode também ser esperada em condições climáticas regionais onde a disponibilidade de água já é naturalmente estressada. Nas microbacias com área maior, variando de 80 a 250 hectares do programa, em geral localizadas em regiões caracterizadas climaticamente por disponibilidade suficiente de água, os resultados mostram também alguma diminuição no deflúvio em função do crescimento das plantações, sem contudo chegar ao secamento completo da vazão. É interessante comentar que em relação a esse aspecto da bacia (área), a literatura mostra que esse possível efeito é praticamente imperceptível em bacias hidrográficas de rios de grande porte. Ou seja, este aspecto – balanço hídrico – tem a ver com o percentual de ocupação da bacia hidrográfica pelas plantações florestais.
- b) Qualidade da água: não foi observada até agora nenhuma relação adversa de causa-e-efeito nas microbacias experimentais sob manejo de plantações florestais. Pelo contrário, considerando apenas a existência das plantações florestais por si mesmas, ou seja, isoladamente das ocasiões em que ocorrem práticas operacionais mais intensivas de manejo, a qualidade da água das microbacias experimentais, levando em conta os parâmetros analisados, mantém-se, em geral, dentro dos limites estabelecidos para cada microbacia, refletindo apenas a variabilidade natural do funcionamento hidrológico das mesmas. Aumentos temporários acima dos limites de estabilidade nas concentrações dos parâmetros analisados ocorrem, em geral, em função de eventos chuvosos mais intensos, assim como associados à realização de práticas operacionais mais intensivas de manejo. Na maioria das microbacias experimentais, o retorno às condições de normalidade tem sido bastante rápido, fenômeno esse associado à manutenção da estabilidade ou saúde hidrológica das microbacias. Trata-se, desta maneira, de uma ação pro-ativa de escala meso, principalmente relacionada com a manutenção da resiliência do ecossistema ripário nas microbacias da unidade de manejo, sendo refletida positivamente na qualidade ambiental das práticas de manejo florestal.
- c) Perdas de solo e de nutrientes: apesar da variabilidade natural observada entre as microbacias experimentais localizadas em diferentes condições de solo e de clima, as taxas de perdas de solo e de nutrientes, avaliadas pela amostragem periódica da concentração de sedimentos finos e de nutrientes dissolvidos na água do riacho, têm se mantido em níveis significativamente baixos, comparativamente às taxas verificadas em sistemas mais intensivos de cultivo. Além disso, os resultados mostram claramente que os aumentos nessas concentrações ocorrem durante eventos chuvosos mais intensos e, em algumas situações, associadas às realizações de práticas operacionais de manejo mais intensivas. De qualquer maneira, tratam-se de dois indicadores para os quais a estratégia sustentável deve ser de tolerância zero. Isto é, não é admissível tolerar a perda do capital natural da sustentabilidade.
- d) Lençol freático: embora se atendo apenas a uma das microbacias experimentais do programa, os resultados do monitoramento do nível freático mostram um padrão de flutuação essencialmente relacionado com as chuvas, não tendo sido notada nenhuma alteração significativa desse padrão que possa ser atribuída ao manejo das florestas plantadas na microbacia experimental.

## 6. Agradecimentos

Ao longo desses 20 anos muitas pessoas deram sua contribuição ao PROMAB. Da mesma forma, além das empresas que atualmente fazem parte do PROMAB existem empresas que já saíram e outras que estão em fase de ingressar no programa. Assim, ao registrarmos os agradecimentos às empresas participantes a intenção é de que esses agradecimentos se estendam também a todos os técnicos dessas empresas que em algum momento participaram diretamente do programa. Algumas pessoas foram realmente chave para o estabelecimento e o aprimoramento do programa: Maria José Brito Zakia, Fausto Rodrigues de Camargo, Aurea Nardelli, Carlos A. Bernardi, Rildo Moreira e Moreira, Jacyr Mesquita Alves, Robson Laprovitera, Sérgio Adão Filipaki, Djalma Muller Chaves, Ivone Satisuki Fier, João Carlos Augusti, Ivan Gama, Renato Ribeiro e Cláudia Moster. A todos, nossos sinceros agradecimentos.

## 7. Referências

AGNEW, L.J.; LYON, S.; GÉRARD-MARCHANT, P.; COLLINS, V.B.; LEMBO, A.J.; STEENHUIS, T.S.; WALTER, M.T. Identifying hydrologically sensitive areas: bridging the gap between science and application. **Journal of Environmental Management**, New York, v.78, p.63-76, 2006.

ALMEIDA, A.C.; SOARES, J.V.; LANDSBERG, J.J.; REZENDE, G.D. Growth and water balance of *Eucalyptus grandis* hybrid plantations in Brazil during a rotation for pulp production. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.251, p.10-21, 2007.

ANDRÉASSIAN, V. Waters and forests: from historical controversy to scientific debate. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.291, p.1-27, 2004.

AYLWARD, B. Towards watershed science that matters. **Hydrological Processes**, Chichester, v.19, p.2643-2647, 2005.

BROWN, A.E.; PODGER, G.M.; DAVIDSON, A.J.; DOWLING, T.I.; ZHANG, L. Predicting the impact of plantation forestry on water users at local and regional scales: an example for the Murrumbidge River Basin, Australia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.251, p.82-93, 2007.

BROWN, A.E.; ZHANG, L.; MCMAHON, T.A.; WESTERN, A.W.; VERTESSY, R.A. A review of paired catchment studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.310, p.28-61, 2005.

CALDER, I.R. Forests and water: ensuring forest benefits outweigh water costs. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.251, p.110-120, 2007.

DEFRIES, R.; ESHLEMAN, K.N. Land-use change and hydrologic processes: a major focus for the future. **Hydrological Processes**, Chichester, v.18, p.2183-2186, 2004.

DYE, P.; VERSFELD, D. Managing the hydrological impacts of South African plantation forests: an overview. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.251, p.121-128, 2007.

FARLEY, K.A.; JOBBÁGY, E.G.; JACKSON, R.B. Effects of afforestation on water yield: a global synthesis with implications for policy. **Global Change Biology**, London, v.11, p.1565-1576, 2005.

HOPMANS, P.; BREN, L.J. Long-term changes in water quality and solute exports in headwater streams of intensively managed radiate pine and natural eucalypt forest catchments in south-eastern Australia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.253, p.244-261, 2007.

JACKSON, R.B.; JOBBÁGY, E.G.; AVISSAR, R.; ROY, S.B.; BARRET, D.J.; COOK, C.W.; FARLEY, D.A.; MAITRE, D.C.; MCCARL, B.A.; MURRAY, B.C. Trading water for carbon with biological carbon sequestration. **Science**, Washington, v.310, p.1944-1947, 2005.

KANOWSKI, P. Intensively managed planted forests. **The Forests Dialogue**, New Haven, p.1-8, 2005.

LUDWIG, D. The era of management is over. **Ecosystems**, New York, v.4, p.758-764, 2001.

MENDES, C.A.M.; LIMA, W.P. Análise de impactos ambientais de florestas plantadas no contexto de bacias hidrográficas: princípios norteadores. In: SEMINÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARAÍBA DO SUL: O EUCALIPTO E O CICLO HIDROLÓGICO, 1., 2007, Taubaté. **Anais**. Taubaté: Unitau, 2007. p.263-270. Disponível em: [www.agro.unitau.br/serhidro](http://www.agro.unitau.br/serhidro) Acesso em: 25 janeiro 2008.

NARASIMHAN, T.N. Water, law, science. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.349, p.125-138, 2008.

LOUDIN, L.; MICHEL, C.; ANCTIL, F. Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall-runoff model? Part 1- can rainfall-runoff models effectively handle detailed potential evapotranspiration inputs? **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.303, p.275-289, 2005a.

LOUDIN, L.; MICHEL, C.; ANDRÉASSIAN, V.; ANCTIL, F.; LOUMAGNE, C. Should Bouchet's hypothesis be

taken into account in rainfall-runoff modeling? an assessment over 308 catchments. **Hydrological Processes**, Chichester, v.9, p.4093-4106, 2005b.

LOUDIN, L.; HERVIEU, F.; MICHEL, C.; PERRIN, C.; ANDRÉASSIAN, V.; ANCTIL, F.; LOUMAGNE, C. Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall-runoff model? Part 2: towards a simple and efficient potential evapotranspiration model for rainfall-runoff modeling. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.303, p.290-306, 2005c.

SCOTT, D.F. On the hydrology of industrial timber plantations. **Hydrological Processes**, Chichester, v.19, p.4203-4206, 2005.

TETZLAFF, D.; MALCOLM, I.A.; SOULSBY, C. Influence of forestry, environmental change and climatic variability on the hydrology, hydrochemistry and residence times of upland catchments. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.346, p.93-111, 2007.

TETZLAFF, D.; SOULSBY, C.; BACON, P.J.; YOUNGSON, A.F.; GIBBINS, C.; MALCOLM, I.A. Connectivity between landscapes and riverscapes: a unifying theme in integrating hydrology and ecology in catchment science. **Hydrological Processes**, Chichester, v.21, p.1385-1389, 2007.

VAN DIJK, A.I.J.M.; KEENAN, R.J. Planted forests and water in perspective. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.251, p.1-9, 2007.

VERTESSY, R.A. Impacts of plantation forestry on catchment runoff. In: O'LOUGHLIN, E.; NAMBIAR, E.K.S. (Eds). **Plantations, farm forestry and water**. Kingston: CSIRO / RIRDC, 2000. p.1-19. (Water and Salinity Issues in Agroforestry, 7).

VERTESSY, R.A.; WATSON, F.G.R.; O'SULLIVAN, K. Factors determining relations between stand age and catchment water balance in mountain ash forests. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.143, p.13-26, 2001.

VITAL, A.T.T.; LIMA, W.P.; CAMARGO, F.R.A. Biogeoquímica de uma microbacia após o corte raso de plantação de eucalipto de 7 anos de idade. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.55, p.17-28, 1999.

ZAKIA, M.J.B. Delimitação da zona ripária em uma microbacia. In: Lima, W.P.; Zakia, M.J.B. (Eds.). **As florestas plantadas e a água**. São Carlos: Rima Editora, 2006. p.89-106.

ZHANG, L.; DAWES, W.R.; WALKER, G.R. Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale. **Water Resources Research**, Washington, v.37, p.701-708, 2001.



**Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais - 40 anos**  
Avenida Pádua Dias, 11 - Caixa Postal 530  
13.400-970 - Piracicaba, SP  
Telefone: +55 (19) 2105-8618 - Fax: +55 (19) 2105-8666  
Visite nosso site: <http://www.ipef.br>