

## 4. DISPONIBILIDADE HÍDRICA POR SUB-BACIAS

Com os resultados obtidos na caracterização ambiental da bacia, identificando-se as condições de relevo, solos, vegetação e uso do solo, pluviosidade e vazão dos rios principais, foi realizada uma análise interdisciplinar, com apoio de técnica de geoprocessamento, visando avaliar a disponibilidade de água na bacia do rio Paraíba do Sul.

O objetivo principal deste estudo consistiu em verificar o nível de resposta que se pode obter sobre o comportamento hidrológico em uma bacia de grandes dimensões, com a base de dados existente, especialmente no sentido de fornecer subsídios aos processos de decisão quanto aos investimentos em proteção de mananciais.

Os itens a seguir apresentam o conceito de disponibilidade hídrica aplicado ao presente estudo, o método utilizado para avaliação da disponibilidade hídrica e uma breve discussão sobre os resultados alcançados.

### 4.1 Conceito de Disponibilidade Hídrica

A expressão “*disponibilidade de água*” remete a uma necessária definição: água disponível “para que” ou “para quem”?...

Naturalmente, as sociedades humanas estão prioritariamente preocupadas com a disponibilidade de água para suas demandas (uso agrícola, consumo doméstico e industrial, geração de energia, etc.) e, secundariamente, com as demandas dos demais seres vivos - animais e plantas – que necessitam de água para suas funções vitais.

Neste aspecto, cabe observar que as necessidades humanas de água extrapolam em muito as demandas para as funções vitais e que, de certo modo, as sociedades civilizadas, utilizam de forma irracional os recursos hídricos invadindo, sem cerimônia, o espaço ambiental ocupado pelos demais seres vivos.

No entanto, a degradação resultante da exploração abusiva de recursos naturais nos últimos séculos de desenvolvimento da civilização industrial já tornou evidente que há limites que precisam ser respeitados, não apenas para reduzir o número de espécies em extinção, mas principalmente para garantir as possibilidades de uso dos recursos e, sob uma perspectiva antropocêntrica mais avançada, em quantidade e qualidade sustentáveis e satisfatórias aos próprios interesses humanos.

Na difícil tarefa de identificar esses limites de sustentabilidade, inclui-se dois aspectos relevantes para recursos hídricos: 1) o reconhecimento de que plantas e animais fazem parte do processo de regulação ambiental das entradas e saídas de água; e 2) o entendimento de *como* se dá esse processo nos ecossistemas habitados e utilizados pelos seres humanos.

Portanto, sob uma perspectiva de gestão das demandas de água para usos humanos, o conceito de disponibilidade hídrica deve abranger as demandas hídricas para manutenção dos ecossistemas, visando inclusive o gerenciamento adequado dos espaços de uso, ou seja, a determinação de limites e critérios para ocupação do solo e uso da água e demais recursos naturais.

Em outras palavras, o enfoque da análise sobre a disponibilidade hídrica deve estar no equilíbrio do sistema *bacia hidrográfica*, de modo que os diversos usos humanos não extrapolem a capacidade do sistema de manter os fluxos e a qualidade da água.

## 4.2 Método de Avaliação da Disponibilidade Hídrica

Como a bacia hidrográfica é um *sistema aberto*, a água que entra na bacia, a partir das chuvas, ficará mais ou menos disponível ao sistema conforme sua capacidade de retenção dessa água, que é definida pelas características de seus compartimentos ambientais (meio físico, vegetação e uso do solo).

O método utilizado para avaliação da disponibilidade hídrica na bacia consistiu de uma análise individual e integrada desses compartimentos, estudados na caracterização ambiental, qualificando as sub-bacias em uma escala que varia de “muito baixa” a “muito alta” disponibilidade.

Assim, as sub-bacias foram primeiramente classificadas quanto às condições relativas à disponibilidade hídrica por tema, individualmente – relevo, solos e cobertura vegetal e uso do solo. Em seguida, as classes de relevo e de solos foram integradas, definindo as condições dadas pelo meio físico; e, depois, as classes resultantes de relevo+solos foram integradas às classes de disponibilidade hídrica para vegetação e uso do solo.

Para a integração dos temas foram utilizados os *softwares* de geoprocessamento *ILWIS* e *ARC/INFO*. Os mapas finais foram confeccionados com o *software ArcView*.

Após a integração temática final, foram identificadas as tendências de disponibilidade hídrica (entre *muito baixa* e *muito alta*) determinadas pelas condições ambientais (relevo+solos+vegetação/uso), em cada sub-bacia. E, em seguida, essas tendências foram ponderadas com a distribuição de chuva média anual, expressando a tendência atual de disponibilidade hídrica nas sub-bacias. Atual porque expressa as condições atuais de cobertura vegetal e uso do solo, as únicas que podem ser alteradas mais rapidamente, na escala de tempo humano, e cujas variações devem ser consideradas em uma perspectiva de planejamento a longo prazo (mínimo de 20 anos).

Para avaliação da tendência de disponibilidade hídrica dada pela integração relevo+solos+vegetação/uso, utilizou-se um método numérico de ponderação, atribuindo um valor para cada classe de disponibilidade (de 1 a 5, correspondendo respectivamente às classes “muito baixa”, “baixa”, “média”, “alta” e “muito alta”) e multiplicando cada valor aos percentuais de cada classe em cada sub-bacia. A soma das parcelas resultantes de cada classe define a tendência na sub-bacia, de acordo com sua posição na escala. Os valores de chuva média anual estimados para as sub-bacias foram agrupados em intervalos de classes semelhantes (de “muito baixa” a “muito alta”) e ponderados com a avaliação de tendência de cada sub-bacia. Os intervalos de classe estão apresentados nos **itens 4.4.2 e 4.4.3**, com os respectivos resultados da avaliação de tendências.

Por fim, para validação da metodologia, a tendência de disponibilidade hídrica em cada sub-bacia foi comparada às vazões específicas<sup>1</sup> Q7-10 (vazões mínimas de sete dias de duração e 10 anos de recorrência) determinadas a partir do estudo de regionalização de vazões realizado pela CPRM (2002). Como as vazões de estiagem prolongada refletem a mínima quantidade de água disponível na bacia ao longo do

<sup>1</sup> Vazão específica – relação entre vazão e área de drenagem.

ano, espera-se uma correspondência diretamente proporcional entre disponibilidade e vazão. Ou seja, sub-bacias onde as condições combinadas de relevo, solos, vegetação, uso do solo e pluviosidade refletem maior disponibilidade de água no sistema, deverão apresentar fluxos de base maiores, e vice-versa.

Ressalta-se, portanto, que este estudo consistiu de uma avaliação indireta de disponibilidade hídrica, baseada em parâmetros teóricos de comportamento dos fluxos de água na bacia após sua entrada pelas chuvas. A tendência de disponibilidade hídrica nas sub-bacias, classificada de modo qualitativo (de *muito baixa* a *muito alta*) foi comparada às vazões específicas de períodos críticos (máxima estiagem) com a finalidade de testar o método de avaliação, com suas restrições de escala e base de dados.

É importante lembrar que a área mínima de sub-bacia definida para a escala desse estudo é de 200km<sup>2</sup>. Sub-bacias com áreas inferiores não foram individualizadas e estão agrupadas em grandes trechos ao longo do curso principal das bacias maiores. Portanto, a comparação das tendências de disponibilidade hídrica com os dados de vazão específica só foi realizada para as sub-bacias individualizadas (aquelas com mais de 200km<sup>2</sup>). As áreas incrementais intermediárias, dentro de cada sub-bacia ou entre sub-bacias ao longo do rio Paraíba do Sul, logicamente, não configuram uma bacia hidrográfica e sim um conjunto de pequenas sub-bacias que não deságuam no mesmo local.

## 4.3 Análise Temática Individual

### 4.3.1 Relevo

A elaboração de uma escala relativa de disponibilidade hídrica para os tipos de relevo presentes na bacia baseou-se na classificação do Projeto Radambrasil, que se utiliza dos parâmetros densidade de drenagem e grau de dissecação do relevo (ver **item 3.1**). Áreas de maior grau de dissecação (ou desnivelamento) representam relevos mais acidentados e montanhosos, sujeitos a maior escoamento superficial e pouca infiltração. De forma inversa, as áreas mais planas, de menor grau de dissecação, funcionam hidrologicamente como zonas receptoras de fluxos d'água. As formas intermediárias de relevo, de suave ondulado a moderado, representam condições relativas de maior ou menor disponibilidade hídrica entre os extremos. A densidade de drenagem está diretamente relacionada à entrada e permanência de água no sistema. Quanto mais fina, mais desenvolvida, significando maior eficiência na captação da água e na percolação subsuperficial e subterrânea.

#### ➤ Muito Alta

Nesta classe, foram agrupados os tipos de relevo com maior densidade de drenagem e menor desnivelamento e as áreas de acumulação fluvial. Quanto menor o desnivelamento, maiores as taxas de infiltração. Os tipos de relevo englobados são os seguintes: **F**, **Mfa3**, **Mfa4**, **Mfa5** e têm ocorrência limitada ao trecho paulista e ao norte fluminense.

## Alta

Nesta classe, foram agrupados os tipos de relevo de colinas que apresentam densidade de drenagem alta, porém não são áreas muito planas. Os tipos de relevo desta classe (**Fa5 e Fa6**) ocorrem em vastas áreas ao longo da bacia.

### ➤ Média

Nesta classe, foram agrupados os tipos de relevo com características intermediárias. Ressalta-se que, embora as características de relevo sejam medianas, a combinação com outros parâmetros físicos, tais como cobertura vegetal e solos, pode fornecer uma disponibilidade hídrica mais alta ou mais baixa. As classes de relevo englobadas são **Mo4 e Mo5**, esta última a de maior expressão na bacia.

### ➤ Baixa

Na condição de baixa disponibilidade hídrica foram agrupados os tipos de relevo de maior grau de dissecação. Esta classe é encontrada nos divisores do norte fluminense e da porção mineira da bacia do rio Paraíba do Sul, onde ocorrem os tipos de relevo **Fo4 e Fo5**.

### ➤ Muito Baixa

Nesta classe foram agrupados os tipos de relevo com os maiores desnivelamentos, encontrados nos divisores das principais bacias de drenagem, escarpados e muito íngremes. Esta classe ocorre principalmente nos trechos paulista e fluminense da Serra do Mar e também na Serra da Mantiqueira. Os tipos de relevo agrupados são: **Mfo4, Mfo5, Efo4 e Efo5**.

## 4.3.2 Solos

A elaboração de uma escala relativa de disponibilidade hídrica para os tipos de solo presentes na bacia do rio Paraíba do Sul foi baseada nas características principais destes solos e nas características específicas das ocorrências na bacia, utilizando-se os dados de descrição de campo do projeto Radambrasil, apresentados na **tabela.E.1, Anexo E**. A classificação qualitativa contemplou os aspectos de espessura dos solos, horizontes e interrelações entre estes, além de propriedades físico-químicas (textura, estrutura, permeabilidade, cerosidade, porosidade e agregação).

### ➤ Muito Alta

Nesta classe foram agrupados todos os latossolos (**LA, LV e LVH**), que são solos bem drenados, bem desenvolvidos e espessos. Estes solos apresentam alta porosidade, agregação, com elevada capacidade de armazenamento de água. Por serem solos profundos, a acumulação de água pode ser maior. Os solos tipo latossolo vermelho amarelo (**LV**) são os de maior ocorrência nesta classe, que se distribui amplamente na bacia do rio Paraíba do Sul.

### ➤ Alta

Nesta classe foram agrupados os tipos de solo que apresentam boa drenagem, ao longo do perfil, mas nem sempre são bem desenvolvidos - podzóico amarelo (**PA**) e cambissolo húmico (**CH**). Secundariamente, ocorrem também os solos aluviais (**Ad** e

**Ae)** que apresentam geralmente espessura compatível com alta capacidade de armazenamento, textura arenosa e conseqüentemente boa permeabilidade.

#### ➤ **Média**

Nesta classe foram agrupados os solos que apresentam perfis bem desenvolvidos, entretanto com horizontes de impedimento à drenagem - brunizem (**BV**), podzólicos (**PE e PV**) e também solos pouco desenvolvidos e com textura predominantemente arenosa, tais como cambissolo (**Ca**) e solos pouco desenvolvidos, orgânicos ou com alto percentual de matéria orgânica (**HO e HGH**).

#### ➤ **Baixa**

Nessa classe foram agrupados os tipos de solo com dificuldade de drenagem, mas bem desenvolvidos (podzol hidromórfico) e os solos de acumulação de argila tipo gley (**HP e HGP**). Como estes solos estão situados em áreas planas, onde o aporte de água é grande, eles ficam geralmente encharcados e sujeitos a processos químicos de redução, que afetam a qualidade da água percolada. A quantidade de água é grande, mas embora o solo esteja “encharcado” a drenagem desta água não é rápida. A ocorrência desta classe é restrita às várzeas de alguns rios na bacia do rio Paraíba do Sul.

#### ➤ **Muito Baixa**

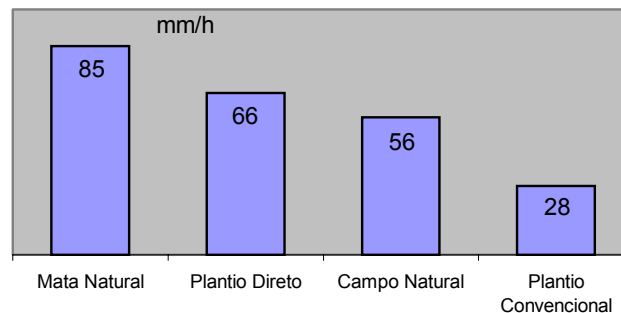
Nessa classe foram agrupados os tipos de solo com dificuldade de drenagem, hidromórficos e salinos (**SKS**). Apesar de apresentarem grande capacidade de armazenamento de água (dada pela textura argilosa), não drenam bem a água e não disponibilizam muita quantidade de água com qualidade adequada para ser usada pelas plantas. Esta classe também inclui os solos litólicos e os afloramentos de rocha que são superfícies praticamente impermeáveis.

### **4.3.3 Vegetação e Uso do Solo**

A cobertura vegetal e as formas de uso do solo têm participação decisiva na disponibilidade hídrica da bacia, especialmente na relação entre as taxas de infiltração e o escoamento. Conforme já discutido no **item 2.1**, o escoamento direto representa a saída mais rápida de água da bacia, pelo canal principal. A água que infiltra no solo é retida por mais tempo no sistema, alimentando os fluxos subterrâneos, que fluem mais lentamente para os canais de drenagem, mantendo não só maior disponibilidade como também melhor qualidade de água para os ecossistemas e usos humanos.

Apesar das variações de comportamento da vegetação quanto à interceptação e à evapotranspiração, terrenos sob cobertura de vegetação natural apresentam, em geral, maiores taxas de infiltração de água do que sob outras condições de cobertura, como pastagens, culturas agrícolas ou áreas urbanas.

Por exemplo, a **figura 4.1** a seguir mostra o resultado de um estudo realizado em Santo Ângelo (RS), onde as taxas de infiltração foram medidas em solo argiloso com mata natural, campo natural, lavoura com plantio direto e lavoura com plantio convencional (Machado, 1976).



**Figura 4.1 - taxas de infiltração em solos argilosos para diversas coberturas - resultado dos estudos realizados em Santo Ângelo (Machado, 1976)**

Com base em referências de taxas de infiltração/escoamento encontradas na literatura, as classes de cobertura vegetal e uso do solo identificadas na caracterização ambiental da bacia foram agrupadas de acordo com suas posições relativas à disponibilidade hídrica do sistema *bacia hidrográfica*, conforme **tabela 4.1**.

**Tabela 4.1 - Relação entre Vegetação e Uso do Solo e Disponibilidade Hídrica**

Disponibilidade Hídrica	Classes de Vegetação e Uso do Solo
Muito Alta	Floresta Ombrófila, Floresta Estacional
Alta	Veg. Secundária, Várzea, Restinga, Mangue
Média	Reflorestamento, Campos de Altitude
Baixa	Campo/pastagem
Muito Baixa	Área Agrícola, Área Urbana, Solo Exposto, Afloramento, Encosta Degradada

OBS: Fora de classificação - Grandes construções; Área não sensoriada; Rios, lagos e mares; Área inundada.

A descrição das classes é apresentada a seguir:

#### ➤ **Muito Alta**

As florestas em geral apresentam estrutura diversificada, formando variados estratos aéreos – árvores emergentes, dossel arbóreo, arvoretas e arbustos de sub-bosque, plantas herbáceas, líquens e musgos – o que, conseqüentemente, resulta em vários estratos subterrâneos, com sistemas radiculares alcançando diferentes profundidades e densidades.

A biodiversidade do bioma Mata Atlântica é reconhecidamente elevada, apesar da reduzida área que hoje ocupa em relação à sua extensão original (antes de 1500 dC). Composição diversificada de flora e fauna e alta densidade de plantas representam uma expressiva produção de matéria orgânica, elemento fundamental para as taxas de infiltração de água, desde a redução do impacto das chuvas e a alta retenção de água da serrapilheira à participação da matéria orgânica na estrutura e porosidade dos solos.

Reynolds e Thompson (1988) destacam a importância do chão da floresta nas taxas de infiltração, com a proteção dada pela serrapilheira e a presença da mesofauna que

aumenta a porosidade do solo, bem como a importância do microclima (alta umidade, ventos fracos) criado pela floresta, que evita o ressecamento do solo. Estes autores citam algumas taxas de infiltração encontradas em florestas tropicais: em uma região da Índia, foram medidas taxas de 10mm/h em área agrícola e 112mm/h em mata; em outra região da Índia, foram registradas taxas de 260mm/h sob floresta, 120mm/h em gramínea e 90mm/h em área agrícola.

#### ➤ **Alta**

A vegetação secundária pode apresentar diferentes estágios de desenvolvimento, variando de arbustiva a arbórea mais ou menos densa, mas sempre com menor porte e estratos arbóreos mais abertos do que a floresta desenvolvida. Como as espécies vegetais estão em constante processo de crescimento e substituição, há uma grande produção de biomassa, que fornece matéria orgânica e contribui para uma alta disponibilidade de água no sistema.

Várzea, restinga e manguezal, tipos de vegetação arbórea natural do bioma Mata Atlântica, também apresentam grande produção de biomassa e podem ser vistos como ambientes favoráveis à infiltração de água. Todos ocorrem em terrenos planos, sendo que as várzeas e os manguezais ocorrem em terrenos marginais aos cursos de água e a restinga em cordões arenosos litorâneos. Entre as funções hidrológicas destas formas de vegetação, destaca-se a filtragem e contenção de sedimentos e nutrientes, mais do que a infiltração (já que ocupam áreas de acumulação), evitando a desagregação e o carreamento de sólidos e nutrientes. A restinga tem ainda papel fundamental de controle da erosão eólica, atuando na estabilização de dunas.

#### ➤ **Média**

Nas áreas classificadas como “reflorestamento” encontra-se predominantemente os plantios comerciais homogêneos de eucaliptos e pinus. Embora sejam povoamentos arbóreos, a contribuição de matéria orgânica para os solos é significativamente menor do que nas formas arbóreas de vegetação natural. Além disso, como são áreas de produção comercial, sofrem corte raso freqüente, expondo o solo e, portanto, aumentando as taxas de escoamento superficial e reduzindo as de infiltração. As elevadas taxas de crescimento do eucalipto representam ainda elevado consumo de água do solo.

Os campos de altitude ocorrem em solos rasos e pedregosos de regiões altas, onde a floresta não se desenvolve. Embora seja uma formação vegetal predominantemente herbácea, não está sujeita ao pisoteio de gado, cobrindo mais eficientemente o solo do que os campos/pastagens.

#### ➤ **Baixa**

A classe de campo/pastagem, que predomina em grande parte da bacia do rio Paraíba do Sul, apresenta-se de modo geral com um nível elevado de degradação e somente em terrenos suave-ondulados ou planos, se observa maior densidade vegetal. As queimadas freqüentes e o excesso de pastoreio resultam em uma contribuição muito baixa de matéria orgânica e na compactação do solo. Nesta classe, as taxas de escoamento superficial tendem a ser bem mais elevadas do que as de infiltração, em especial nas áreas de relevo mais acidentado. Ressalta-se que o cultivo das pastagens é precedido, na maioria das vezes, de aração com trator “morro abaixo”, que forma sulcos no solo exposto, ao longo das linhas de maior declive, facilitando o escoamento



superficial e, conseqüentemente, a rápida saída e o comprometimento à qualidade da água do sistema.

#### ➤ **Muito Baixa**

As áreas mapeadas como de uso agrícola, área urbana, solo exposto, afloramento rochoso e encosta degradada apresentam muito baixa contribuição à disponibilidade hídrica na bacia. Entre todas as classes de mapeamento, são as que apresentam condições de menor favorecimento à infiltração de água no solo e, ao contrário, uma tendência ao escoamento superficial extremamente elevada.

Áreas agrícolas, em princípio, poderiam estar em uma condição menos desfavorável à disponibilidade hídrica do que as demais classes aqui agrupadas. No entanto, a agricultura praticada na maior parte da bacia é de cultivos temporários, sem técnicas de conservação de solo e ocupando faixas marginais de cursos d'água e encostas íngremes. Também é comum a aração “morro abaixo” no preparo do terreno. Além disso, a agricultura é um dos tipos de uso que apresenta maior consumo de água, de modo geral.

## **4.4 Análise Interdisciplinar**

Neste item, são apresentados os resultados obtidos com a integração das classes de disponibilidade hídrica de cada tema e a ponderação com a chuva média anual, que expressa a avaliação final da tendência atual de cada sub-bacia. A avaliação dos resultados, por sub-bacia, inclui a comparação com a vazão específica Q7-10.

### **4.4.1 Integração Relevo-Solos**

Após analisadas, individualmente, as classes de relevo e solos, os grupamentos resultantes foram integrados, gerando uma classificação do meio físico quanto à sua participação na disponibilidade hídrica do sistema.

A **tabela 4.2** resume a classificação de disponibilidade definida individualmente para as classes de relevo e de solos. E, na **tabela 4.3**, observa-se a resultante das combinações entre relevo e solos.

**Tabela 4.2 - Avaliação das classes de relevo e solos quanto à disponibilidade hídrica**

<b>Disponibilidade Hídrica</b>	<b>Classes de Relevo</b>	<b>Classes de Solos</b>
Muito Alta (MA)	MFa3, MFa4, MFa5, F	LVH, LA, LV
Alta (A)	Fa5, Fa6	PA, CH, Ad/Ae
Média (M)	Mo4, Mo5	BV, PE, PV, Ca, HO, HGH
Baixa (B)	Fo4, Fo5	HP, HGP
Muito Baixa (MB)	MFo4, MFo5, EFo4, EFo5	AR, SKS, R



**Tabela 4.3 - Integração das classes de relevo e solos**

RELEVO	SOLOS				
	MA	A	M	B	MB
<b>MA</b>	<b>MA</b>	<b>MA</b>	<b>M</b>	<b>B</b>	<b>MB</b>
<b>A</b>	MA	A	M	B	MB
<b>M</b>	A	M	M	B	MB
<b>B</b>	A	M	M	B	MB
<b>MB</b>	M	B	B	MB	MB

Desse modo, integrando os dois temas, as condições do meio físico relacionadas à disponibilidade hídrica na bacia do rio Paraíba do Sul se expressam nas seguintes combinações possíveis entre classes de relevo e solos, descritas por categoria de disponibilidade hídrica:

➤ **Muito Alta**

O meio físico apresenta as condições mais favoráveis para disponibilidade de água na bacia nas áreas onde ocorrem os solos mais profundos e bem estruturados, sobre relevo plano ou suave ondulado com elevada densidade de drenagem.

Dentre as combinações possíveis entre classes de relevo e solos nesta categoria de disponibilidade hídrica, destacam-se as ocorrências de latossolo vermelho-amarelo (**LV**) sobre relevo de fraca dissecação (**Fa5 e Fa6**). Estas classes de solo e relevo são as mais expressivas da bacia e se estendem por grandes áreas. A integração **Fa5+LV** ocorre em extensas manchas nas bacias dos rios Paraíba e Pomba, incluindo as sub-bacias de vários afluentes destes rios, como as sub-bacias do rio do Peixe (2250) e do rio Novo (2307), afluentes pela margem direita, respectivamente. Incluem-se também nesta classe as bacias dos rios Grão-Mongol, Pinho e Paraopeba.

A associação **Fa6+LV** ocorre principalmente na região da calha do rio Paraíba do Sul abrangendo parte dos trechos paulista até Funil (5000) e de Funil até Santa Cecília (5001). Neste último trecho, observa-se que a integração **LV+Fa6** abrange também grande parte das bacias dos rios Barreiro de Baixo (2230), Bananal (2229) e Turvo (2363). Destacam-se ainda, nesta categoria, o curso médio da bacia do rio Paraíba-SP (2315) e as cabeceiras da sub-bacia do rio Lourenço Velho (2298), seu afluente pela margem esquerda.

➤ **Alta**

Na classe de alta disponibilidade hídrica para as características do meio físico, ocorrem solos profundos, bem estruturados, em condições de relevo suave ondulado a ondulado, com densidade de drenagem elevada.

Dentre as combinações possíveis entre classes de relevo e solos nesta categoria de disponibilidade, destacam-se as ocorrências de latossolo vermelho amarelo (**LV**) sobre relevo moderado (**Mo5**), muito frequentes na região central da bacia do rio Paraíba do Sul, em extensas áreas ao longo das sub-bacias da margem esquerda. A maior parte da bacia do rio Preto (2340) e seus afluentes encontra-se nesta categoria, que se estende em uma grande área contínua na região que abrange o curso médio da bacia do rio Paraíba (2314), parte do trecho 5003 no rio Paraíba do Sul, quase toda a bacia do rio Angu (2163) e grande parte da bacia do rio Pirapetinga (2333).

Em ocorrências de latossolos (**LV e LVH**), destaca-se a bacia do rio Glória, afluente do rio Muriaé, onde o relevo é predominantemente moderado, com **Mo4** na margem esquerda e **Mo5** na margem direita, caracterizando alta disponibilidade hídrica para as condições dadas pelo meio físico de toda sub-bacia.

Outra ocorrência importante de latossolo vermelho amarelo (**LV**) nesta classe de alta disponibilidade hídrica se observa nas áreas de relevo com dissecação forte e densidade de drenagem muito fina (**Fo5**). Observa-se uma expressiva ocorrência desta categoria ao longo dos divisores dos cursos médios das bacias dos rios Pomba e Muriaé.

#### ➤ **Média**

A classe de média disponibilidade hídrica é a que apresenta maior número de combinações de classes de solo e de relevo e que ocupa a maior área da bacia (42%). Entretanto, a maior parte apresenta ocorrência localizada e de pouca expressão. Nesta categoria estão as combinações de solos bem desenvolvidos (latossolos) em condições de relevo mais acidentado a montanhoso, com densidade de drenagem fina a muito fina (**Mfo4/5** e **Efo4/5**) – que apresentam poucas ocorrências na bacia (ver **tabela 4.3**). As principais associações relevo-solos desta classe se observa nas ocorrências de solos rasos e/ou com impedimentos à drenagem, em condições de relevo pouco ondulado a plano, com densidades de drenagem variadas.

Dentre as combinações possíveis entre relevo e solos nesta classe, destacam-se, como mais significativas, as ocorrências de podzólico vermelho amarelo (**PV**) em relevo suavemente ondulado (**Fa5**) e moderado (**Mo5**) e cambissolo álico (**Ca**) em relevo suavemente ondulado (**Fa6**) e em relevo montanhoso (**Fo5**). As áreas de podzólico vermelho amarelo estão geralmente situadas nas sub-bacias dos rios Muriaé e Pomba (Xopotó e São Domingos, p. ex.) e também nas sub-bacias dos rios Jaguari, Una e parte do trecho entre Três Rios e Itaocara. As áreas de cambissolo álico estão concentradas principalmente nas cabeceiras das sub-bacias dos rios Paraitinga, Jacuí e Paraibuna (2315) e também na sub-bacia do rio Vermelho e em praticamente toda sub-bacia do rio Chapéu.

Pela margem direita do rio Paraíba do Sul, destaca-se a ocorrência de **Mo5+PE** no curso inferior da bacia do rio Paquequer (2310) e no curso médio da bacia do rio Negro.

#### ➤ **Baixa**

A classe de baixa disponibilidade hídrica é composta por solos rasos e/ou com impedimento à drenagem em condições de relevo muito montanhoso e também solos hidromórficos (com dificuldade de drenagem) em relevo suavemente ondulado. A maior parte desta categoria é dada pela classe de cambissolo álico (**Ca**) em condições de relevo montanhoso (**Mfo4** e **Efo5**).

Dentre as áreas abrangidas por esta classe, destacam-se a região serrana do Rio de Janeiro - sub-bacias do ribeirão São José e alto curso do rio Grande, rio do Colégio e a bacia do rio Piabanha, onde predomina a ocorrência de cambissolo álico em relevo **Mfo4** - e as cabeceiras de sub-bacias da região paulista (sub-bacias do Passa Vinte e Pirapetinga (2334), p. ex.) com cambissolo álico em relevo **Efo5**.

## ➤ Muito Baixa

A classe de disponibilidade hídrica muito baixa é composta por solos muito rasos e pouco desenvolvidos, em condições variadas de relevo. A ocorrência desta classe é muito restrita (2%), destacando-se principalmente as combinações de afloramentos rochosos (**AR**) em relevo muito montanhoso (**Efo5**) e solo litólico (**R**) em relevo montanhoso (**Fo4**).

A interação **Efo5+AR** ocorre principalmente nos divisores da região serrana fluminense (sub-bacias do Paquequer, Piabanha, Grande, Preto (2341) e São José). A integração **Fo4+R** ocorre em áreas estritas e isoladas ao longo da bacia do rio Muriaé.

A **tabela E.2, Anexo E**, apresenta os resultados da integração Relevo-Solos, por classe de disponibilidade hídrica, para todas as sub-bacias e trechos intermediários

A **tabela 4.4** apresenta o resumo da integração Relevo-Solos, por classe de disponibilidade hídrica, com os respectivos percentuais ocupados por cada classe.

**Tabela 4.4 – Resumo da Integração Relevo-Solos por Classe de Disponibilidade Hídrica**

Disponibilidade Hídrica no Sistema	Integração Relevo-Solos Ocorrências mais Expressivas na Bacia	
<b>Muito Alta</b>  26%	Fa5 + LV	extensas áreas nas bacias dos rios Paraibuna e Pomba, estendendo-se em partes da bacia do rio Muriaé
	Fa6 + LV	trechos paulista até Funil e de Funil até Santa Cecília cabeceiras do Lourenço Velho e médio curso do Paraibuna SP
	Fa6 + LVH	baixo curso dos rios Bananal (2229), Turvo e Barreiro de Baixo
	MFa3 + LV	divisores do alto Rio Negro, curso superior do ribeirão da Areias
	MFa3 + LA	margem direita do Paraíba do Sul
<b>Alta</b>  21%	Mo5 + LV	margem esquerda do Paraíba do Sul
	Mo4 + LV	sub-bacias de São Fernando, Bonito, das Flores, Pinho, parte do Preto (2340); médio Paraibuna MG, trecho entre Três Rios e Itaocara, rios Angu e Pirapetinga (2333), Glória (m.d.), Paraopeba, Paraibuna na confluência com Peixe, Cágado, Buquira e Peixe/Jaguari.
	Mo5 + LVH	sub-bacias do rio Glória (m.e.) Muriaé (médio), Novo e Cágado
	Fo4 + LVH	rio Glória (alto curso), Paquequer (2310), Paquequer/Preto (2341) e cabeceira do rio Grande
	Fo4 + LV	Carangola, m.e. (alto curso) divisores Glória, Fumaça e Bagres
	Fo5 + LV	Carangola e Pomba (alto curso)
<b>Média</b>  42%	Fa5 + PV	ao longo do divisor das bacias dos rios Pomba e Muriaé, no médio curso e na bacia do Jaguari/ Peixe(alto curso)
	Mo5 + PV	sub-bacias dos rios Xopotó e São Domingos
	Fa6 + Ca	Parte das sub-bacias dos rios Jaguari, Una
	Fo5 + Ca	parte do trecho do Paraíba entre Três Rios e Itaocara.
	Mo5 + PE	cabeceiras das bacias do Paraitinga, Jacuí e Paraibuna (2315)
<b>Baixa</b> 9%	Mfo4 + Ca	cabeceira do rio Vermelho e sub-bacia do rio Chapéu
	Efo5 + Ca	Trechos 5002 e 5003 próximo a Três Rios - confluência dos rios Paraibuna e Piabanha com Paraíba do Sul, curso inferior do rio Paquequer (2310) e curso médio do rio Negro
<b>Muito Baixa</b> 2%	Efo5 + AR	sub-bacias do ribeirão São José, rio do Colégio, alto curso do rio Grande, bacia do rio Piabanha
	Fo4 + R	cabeceiras de sub-bacias Passa Vinte, Pirapetinga (2334)
		cabeceiras das sub-bacias Paquequer, Piabanha, Grande, Preto (2341) e São José
		Áreas estritas ao longo da bacia do rio Muriaé

#### 4.4.2 Integração Relevo-Solos-Vegetação

Supondo, hipoteticamente, que a bacia do rio Paraíba do Sul estivesse completamente coberta de florestas (como estava antes do século XVI), a distribuição das classes de disponibilidade hídrica provavelmente seria semelhante a que resulta da integração relevo-solos, com maiores áreas ainda nas classes de alta e muito alta disponibilidade e com alguma variação determinada pela distribuição das chuvas na bacia.

No entanto, quando se sobrepõe as condições atuais de cobertura vegetal e uso do solo às combinações de relevo e solos na bacia, a distribuição das classes de disponibilidade hídrica se modifica sensivelmente, tendo em vista que a vegetação que hoje predomina na bacia é a de campos/pastagens, cujas características são bem diversas das florestas originais, com aspectos menos favoráveis à infiltração de água nos solos.

As classes resultantes dessa sobreposição denotam que, onde ainda há florestas ou vegetação secundária, a disponibilidade hídrica tende a ser alta ou muito alta, caindo para média, baixa ou muito baixa somente onde as condições de relevo+solos são mais desfavoráveis (B ou MB). Já onde as florestas primárias foram substituídas por pastagens, áreas agrícolas ou áreas urbanas, a disponibilidade hídrica tende a diminuir em relação às condições dadas originalmente pelo meio físico (**tabela 4.5**).

**Tabela 4.5 - Classes de disponibilidade hídrica resultante da integração das classes de relevo+solos com vegetação e uso do solo.**

Vegetação e Uso do Solo	Relevo+Solos				
	MA	A	M	B	MB
MA	MA	MA	MA	M	B
A	MA	A	A	M	MB
M	A	M	M	B	MB
B	A	M	B	B	MB
MB	M	B	B	MB	MB

Comparando-se as **tabelas 4.4 e 4.5**, observa-se que, as regiões onde a integração relevo+solos está nas classes de muito alta ou alta disponibilidade hídrica, passam para as classes de média a baixa disponibilidade, quando em presença de cobertura vegetal e usos do solo caracterizados por condições mais desfavoráveis à conservação da água na bacia hidrográfica.

Por outro lado, a presença de florestas e capoeiras eleva, para as classes de alta e muito alta disponibilidade hídrica, algumas regiões onde o meio físico se encontra nas classes de média e alta, respectivamente; bem como eleva, para a classe de média, situações onde o meio físico está na classe de baixa disponibilidade.

A **tabela 4.6**, apresentada a seguir, sintetiza as possíveis situações ambientais resultantes da integração entre as classes do meio-físico com as de vegetação e uso do solo, por categoria de disponibilidade hídrica, incluindo o percentual de cada classe na bacia. A distribuição espacial das classes por sub-bacia encontra-se no mapa “Integração Relevo-Solos-Vegetação/Uso” (**Anexo F**).

**Tabela 4.6 - Combinações entre classes de relevo+solos com vegetação e uso do solo**

Combinações entre os temas		Disponibilidade Hídrica Resultante	Percentual na Bacia
Meio Físico (Relevo+Solos)	Vegetação e Uso Atual		
MA, A ou M MA	MA – florestas A – veget sec, várzea, restinga ou mangue	Muito Alta	10
A ou M MA MA	A – veget sec, várzea, restinga ou mangue M – reflorestamento ou campos de altitude B – campos/pastagens	Alta	30
B B M ou A A MA	MA – florestas A – veget sec, várzea, restinga ou mangue M – reflorestamento ou campos de altitude B – campos/pastagens MB – área agrícola, urbana, afloram.	Média	23
MB B B ou M M ou A	MA – florestas M – reflorestamento ou campos de altitude B – campos/pastagens MB – área agrícola, urbana, afloram., etc	Baixa	35
MB MB MB MB ou B	A – veget sec, várzea, restinga ou mangue M – reflorestamento ou campos de altitude B – campos/pastagens MB – área agrícola, urbana, afloram., etc	Muito Baixa	2

Aplicando-se um método numérico de avaliação, a tendência de disponibilidade hídrica em cada sub-bacia foi determinada atribuindo-se valores inteiros para as classes - valor 1 para MB, 2 para B, 3 para M, 4 para A e 5 para MA -, multiplicando-os pelo percentual de área em cada classe e somando os valores encontrados em cada bacia. O valor resultante foi classificado de acordo com os intervalos apresentados na **tabela 4.7**. A **tabela E.3 (Anexo E)** apresenta detalhadamente os resultados encontrados para as sub-bacias e trechos intermediários.

**Tabela 4.7 - Classes atribuídas aos valores resultantes da ponderação numérica da integração Relevo-Solos-Cobertura Vegetal/Uso do Solo**

Classe	Intervalos
MB	< 1,5
B	1,5 - 2,5
M	2,5 - 3,5
A	3,5 - 4,5
MA	> 4,5

A tendência identificada, por este procedimento, em cada sub-bacia, foi utilizada para a ponderação com classes de distribuição de chuva média anual na bacia. A descrição de ambos os resultados – da integração relevo+solos+veg/uso e da ponderação com chuva – encontra-se no item a seguir, por sub-bacias dos maiores afluentes do rio Paraíba do Sul.

No sentido de suavizar os limites arbitrados entre as classes, foram acrescentados sinais de (+) e (-) às letras, quando o valor de tendência calculado para cada sub-bacia se aproximava da classe imediatamente posterior ou anterior, respectivamente. Este procedimento levou em conta apenas a necessidade de relativizar uma avaliação que, por ser qualitativa (e não quantitativa) não está atrelada a valores numéricos rígidos impondo mudanças bruscas entre classes, que não correspondem exatamente

às variações nas condições ambientais. O mesmo procedimento foi adotado para os limites de classe arbitrados para chuva média anual e para vazão específica. No entanto, na ponderação entre chuva e integração relevo+solos+veg/uso não houve tratamento diferenciado para as posições de classe próximas aos limites.

#### 4.4.3 Ponderação com Chuva e Comparação com Vazão

De acordo com o método de análise interdisciplinar utilizado, descrito no **item 4.2**, as classes resultantes da integração relevo+solos+vegetação/uso foram ponderadas com a distribuição de chuva média anual, expressando a tendência atual de disponibilidade hídrica de cada sub-bacia do rio Paraíba do Sul. Vale lembrar que a expressão “tendência atual” está refletindo as condições atuais de cobertura vegetal e uso do solo, sobre uma determinada condição de meio físico e de pluviosidade média anual.

A amplitude de valores da distribuição de chuva média anual na bacia foi dividida em intervalos iguais, em cinco classes qualitativas, semelhantes às classes utilizadas na avaliação de disponibilidade hídrica (**tabela 4.8**). No Mapa de Chuva Média Anual, localizado no **Anexo D**, pode ser visualizada a distribuição das classes ao longo da bacia.

**Tabela 4.8 - Classes de Chuva Média Anual (mm)**

Classe	Intervalos (mm)
MB	900 – 1120
B	1120 – 1340
M	1340 – 1560
A	1560 – 1780
MA	1780 – 2001

Na ponderação entre a tendência de disponibilidade hídrica determinada pelas condições ambientais (integração relevo-solos-vegetação/uso) e a distribuição de chuva média anual, considerou-se as seguintes situações, demonstradas na **tabela 4.9**, a seguir:

- ✓ onde há maior quantidade de chuva ou a condição ambiental é mais favorável (de classe média para cima), a tendência atual de disponibilidade hídrica deverá sempre aumentar, elevando situações onde as condições ambientais (da integração) ou de chuva média sejam menos favoráveis, para situações mais favoráveis à disponibilidade hídrica;
- ✓ no sentido oposto, onde há menor quantidade de chuva ou a condição ambiental é menos favorável (de classe média para baixo), a tendência atual de disponibilidade hídrica deverá sempre diminuir, resultando em situações menos favoráveis à disponibilidade hídrica;

**Tabela 4.9 - Classes resultantes da ponderação entre chuva e integração meio físico+vegetação/uso**

Tendências Rel+Sol+Veg	Chuva Média Anual				
	MB	B	M	A	MA
<b>MB</b>	MB	MB	B	M	M
<b>B</b>	MB	B	B	M	M
<b>M</b>	B	B	M	A	A
<b>A</b>	M	M	A	A	MA
<b>MA</b>	M	M	A	MA	MA

As tendências resultantes desta etapa final de avaliação de disponibilidade hídrica, para cada sub-bacia, estão representadas por cores no respectivo mapa, no **Anexo F**. Também no **Anexo F**, encontra-se o mapa com as tendências das maiores bacias, que expressam as médias das tendências das sub-bacias de seus respectivos afluentes.

Nestes mapas e nas tabelas com os resultados de cada sub-bacia, apresentadas nos itens a seguir, observa-se a tendência de disponibilidade hídrica tanto das sub-bacias individualizadas (com mais de 200km<sup>2</sup>) quanto dos trechos intermediários (conjuntos de sub-bacias com menos de 200km<sup>2</sup>). Embora não seja possível comparar tendências com vazões específicas nos trechos intermediários, pode-se, desse modo, visualizar a distribuição das tendências em toda a extensão da bacia do Paraíba do Sul.

Para comparação da tendência de disponibilidade hídrica com as vazões específicas Q7-10 das sub-bacias individualizadas, foi utilizado o mesmo procedimento simplificado adotado para a classificação de chuva média anual, distribuindo-se a amplitude de vazões estimadas para o conjunto de sub-bacias, em cinco classes, com intervalos iguais, equivalentes às classes de disponibilidade hídrica (ver **tabela 4.10**).

**Tabela 4.10 - Classes de Vazão Específica Q7-10**

Classe	Intervalos (l/s.km)
MB	< 2,2
B	2,2 - 4,4
M	4,4 - 6,6
A	6,6 - 8,8
MA	> 8,8

Para vazões específicas com valores muito próximos aos limites de classe, também foram considerados sinais de (+) ou de (-), se mais próximos da classe posterior ou da anterior, respectivamente. Este procedimento, adotado no sentido de suavizar as variações entre classes, levou em conta ainda os seguintes aspectos:

- ✓ as chuvas e as vazões Q7-10 foram estimadas a partir de séries históricas, de períodos em que as condições de cobertura vegetal e uso do solo podem ter sido modificadas, o que afetaria a tendência esperada em algumas sub-bacias, especialmente nas menores;
- ✓ a tendência identificada representa uma condição média de disponibilidade hídrica e a vazão Q7-10 representa o período mais crítico possível (teórico).



Portanto, na comparação entre classes de tendência de disponibilidade hídrica e classes de vazão específica, as discrepâncias só foram consideradas relevantes quando a tendência está numa classe diametralmente oposta à da vazão.

Na interpretação dos resultados que apresentaram discrepâncias significativas, considerou-se a possibilidade de fatores de interferência no método de avaliação da tendência e na regionalização de vazões.

No que diz respeito ao método de análise interdisciplinar utilizado, procurou-se observar variações nas condições ambientais não detectadas pelo método ou pela base de dados disponível, mas que possam ter influenciado os resultados, tais como diferenças nas características de relevo, de solos e/ou de vegetação e uso do solo, que possam ter sido homogeneizadas nos agrupamentos para a integração temática ou ainda confundidas ou desprezadas nos mapeamentos originais. O tamanho da sub-bacia (quanto menor a sub-bacia, maior o erro de mapeamento) e as diferentes escalas dos mapas temáticos utilizados foram aspectos também considerados.

Quanto à regionalização, verificou-se a correspondência entre as vazões estimadas e os dados originais dos postos (somente possível para as sub-bacias que dispõem de estações fluviométricas), comparando os valores de Q7-10 dos postos com os valores determinados na equação de regressão da regionalização. Nos casos de divergência entre os valores, verificou-se se o valor do posto apresentava coerência com a tendência de disponibilidade hídrica avaliada, eliminando-se a discrepância, quando coerente.

Quando os valores de Q7-10 do posto e da regionalização eram equivalentes, ou quando não havia postos na sub-bacia, outros aspectos eram ainda considerados na análise da “causa da discrepância”, tais como aqueles relacionados à representatividade espacial e temporal dos postos pluviométricos e fluviométricos.

Nos itens a seguir, apresenta-se a análise dos resultados obtidos, por sub-bacia dos maiores afluentes do rio Paraíba do Sul, de montante para jusante. Esta análise contempla os resultados da integração temática, da ponderação com chuva média anual e da comparação das tendências com as vazões específicas Q7-10.

Observa-se que os resultados deste estudo de avaliação de disponibilidade hídrica foram bastante satisfatórios, com poucas discrepâncias entre as tendências avaliadas e as vazões estimadas pela regionalização, todas esclarecidas pelos critérios de análise acima definidos, e irrelevantes para a escala da análise. Os resultados obtidos, incluindo as discrepâncias na aferição do método, formam uma boa referência para a definição de prioridades de investimentos na bacia, tanto para a seleção de áreas e de critérios para proteção e recuperação de mananciais, como para a definição de lacunas a serem preenchidas na base de dados e no conhecimento técnico-científico relativos ao comportamento hidrológico da bacia e suas condições ambientais.

#### **4.4.3.1 Bacias Paraitinga/Paraibuna**

De acordo com os resultados obtidos neste estudo, as sub-bacias dos rios Paraitinga e Paraibuna, formadores do rio Paraíba do Sul, apresentam boas condições ambientais relacionadas à disponibilidade hídrica, especialmente a sub-bacia do rio Paraibuna, em condições excepcionalmente favoráveis de meio físico e cobertura vegetal.

A **tabela 4.11**, a seguir, mostra a área ocupada e os respectivos percentuais em cada classe de disponibilidade hídrica resultante da integração relevo+solos com vegetação e uso do solo, em cada sub-bacia. A **tabela 4.12** exibe a avaliação de tendências resultantes desta integração e de sua ponderação com a chuva média (tendência atual) e a comparação com vazões específicas Q7-10. A **figura 4.2** ilustra as tendências de disponibilidade hídrica e a relação entre as classes para o conjunto de sub-bacias.

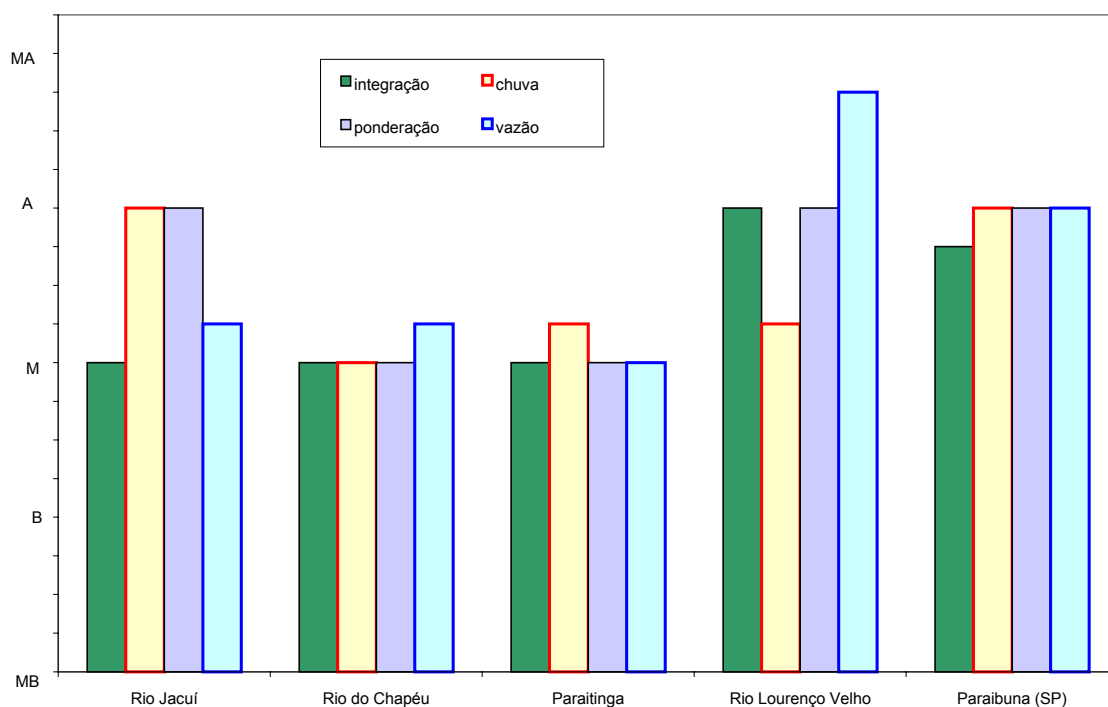
**Tabela 4.11 - Classes resultantes da integração relevo+solos+vegetação/uso nas bacias dos rios Paraitinga e Paraibuna, SP**

Sub-bacias		Áreas Contidas nas Classes Resultantes da Integração Relevo+Solos+Vegetação/Uso (ha e %)					
cod	Afluentes	MA	A	M	B	MB	Total
2291	Rio Jacuí	2.472	15.836	1.324	29.208	0	48.840
		5	32	3	60	0	100
2238	Rio do Chapéu	20	8.608	748	13.404	0	22.780
		0	38	3	59	0	100
2316	Rio Paraitinga	18.728	71.808	17.132	85.720	0	193.388
		10	37	9	44	0	100
<b>Total Paraitinga</b>		<b>21.220</b>	<b>96.252</b>	<b>19.204</b>	<b>128.332</b>	<b>0</b>	<b>265.008</b>
		<b>8</b>	<b>36</b>	<b>7</b>	<b>48</b>	<b>0</b>	<b>100</b>
2295	Rio Lourenço Velho	17.860	7.472	3.704	3.824	0	32.860
		54	23	11	12	0	100
2315	Rio Paraibuna	31.104	32.156	2.040	38.604	0	103.904
		30	31	2	37	0	100
<b>Total Paraibuna (SP)</b>		<b>48.964</b>	<b>39.628</b>	<b>5.744</b>	<b>42.428</b>	<b>0</b>	<b>136.764</b>
		<b>36</b>	<b>29</b>	<b>4</b>	<b>31</b>	<b>0</b>	<b>100</b>

**Tabela 4.12 - Avaliação das tendências e comparação com vazão específica  
Bacias dos rios Paraitinga e Paraibuna, SP**

Sub-bacias		IND* ou TR	Integração (rel+solos+veg/uso)		Chuva média anual		Tendência Atual	Vazões Específicas Q7,10	
cod	Afluente		num	classe	mm	classe		l/s.km²	classe
2291	Rio Jacuí	IND	2,83	M	1.645	A	A	6,21	M+
2238	Rio do Chapéu	IND	2,79	M	1.423	M	M	6,45	M+
2316	Rio Paraitinga	TR	3,12	M	1.514	M+	M	-	-
<b>Total Paraitinga</b>		<b>IND</b>	<b>3,04</b>	<b>M</b>	<b>1.530</b>	<b>M+</b>	<b>M</b>	<b>5,69</b>	<b>M</b>
2295	Rio Lourenço Velho	IND	4,20	A	1.546	M+	A	9,30	MA-
2315	Rio Paraibuna	TR	3,54	A-	1.751	A+	A	-	-
<b>Total Paraibuna (SP)</b>		<b>IND</b>	<b>3,70</b>	<b>A-</b>	<b>1.694</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>8,16</b>	<b>A</b>

\* IND - sub-bacias individualizadas, com mais de 200km²; TR – trechos intermediários.



**Figura 4.2 - Tendências de disponibilidade hídrica, chuva média anual e vazão específica - Bacias dos rios Paraitinga e Paraibuna, SP**

Na **tabela 4.11**, observa-se que a classe de muito alta (MA) disponibilidade hídrica ocupa uma área expressiva na bacia do rio Paraibuna, tanto em extensão como em percentual. Na sub-bacia do rio Lourenço Velho, afluente pela margem esquerda do rio Paraibuna, esta classe ocupa 54%, caracterizando-a como uma das sub-bacias com condições ambientais mais favoráveis à disponibilidade hídrica em toda a bacia do rio Paraíba do Sul.

As florestas (que ocupam 23% da bacia) são determinantes para esta condição, na medida em que mantêm a tendência para muito alta disponibilidade hídrica das áreas onde ocorrem a combinação de **Fa5+LV** e elevam a tendência, de média para alta disponibilidade, nas áreas de ocorrência de cambissolos. Essa condição indica que o desmatamento na bacia pode resultar em comprometimento à quantidade e qualidade da água que chega ao reservatório de Paraibuna, situado na confluência deste rio com o Paraitinga, principalmente considerando-se a elevada pluviosidade da região, que favorece à ocorrência de intensos processos de erosão hídrica.

Na bacia do rio Paraitinga, a tendência atual de média disponibilidade hídrica deve-se principalmente à predominância de pastagens (71%) e à expressiva ocorrência de cambissolos. Esta tendência poderia ser elevada para a classe de alta disponibilidade hídrica, se houvesse maior extensão de florestas (que ocupam apenas 8% da bacia), especialmente no curso superior da bacia, a montante da confluência com o rio Jacuí e na sub-bacia deste afluente, onde o tipo de relevo (**Fa6**) favorece à disponibilidade de água no sistema, atualmente reduzida com a predominância de pastagens.

Os valores de vazão específica Q7-10 encontrados estão coerentes com a avaliação de disponibilidade hídrica, em ambas as bacias, Paraibuna e Paraitinga. Nos afluentes Jacuí e Lourenço Velho, as diferenças observadas não são significativas para os critérios e métodos utilizados, conforme discutido anteriormente. A vazão específica no rio Jacuí está classificada como média, tendendo para alta (M+), coerente com as

condições ambientais (integração relevo+solos+veg/uso), favorecidas pela elevada pluviosidade da região. E, na sub-bacia do rio Lourenço Velho, o valor da vazão específica está mais elevado do que a tendência, porém não está em posição diametralmente oposta e mantém coerência com as condições ambientais da sub-bacia e com a tendência de disponibilidade hídrica avaliada.

#### 4.4.3.2 Bacia do Rio Jaguari

Esta bacia apresenta tendência atual de alta (A) disponibilidade hídrica, resultante da ponderação entre as tendências da integração relevo+solos+veg/uso, de média→alta disponibilidade hídrica, com a elevada pluviosidade da região.

Observa-se, no mapa com as classes resultantes da integração (**Anexo F**), que a sub-bacia do rio do Peixe, maior afluente do Jaguari, exerce forte influência na condição geral da bacia, pela ocorrência de uma área expressiva de latossolo vermelho-amarelo em tipos de relevo que configuram disponibilidade hídrica alta e muito alta para o meio físico (**Mo5 e Fa5**) e pela presença de florestas e capoeiras nas áreas onde ocorrem os solos mais críticos (podzólicos e cambissolos). A alta pluviosidade nesta sub-bacia, com chuva média anual superior a 1800mm, eleva sua tendência, resultante da integração meio físico+vegetação/uso, da classe *alta* para a *muito alta* disponibilidade (ver **tabelas 4.13 e 4.14**).

**Tabela 4.13 - Classes resultantes da integração relevo+solos+vegetação/uso na bacia do rio Jaguari, SP**

Sub-bacias		Áreas Contidas nas Classes Resultantes da Integração Relevo+Solos+Vegetação/Uso (ha e %)					
cod	Afluentes	MA	A	M	B	MB	Total
2319	Rio Parateí	8.180	4.528	444	23.516	0	36.668
		22	12	1	64	0	100
2251	Rio do Peixe	17.512	15.892	15.536	17.736	0	66.676
		26	24	23	27	0	100
2294	Rio Jaguari	14.336	16.028	5.364	30.852	0	66.580
		22	24	8	46	0	100
<b>Total Jaguari</b>		<b>40.028</b>	<b>36.448</b>	<b>21.344</b>	<b>72.104</b>	<b>0</b>	<b>169.924</b>
		<b>24</b>	<b>21</b>	<b>13</b>	<b>42</b>	<b>0</b>	<b>100</b>

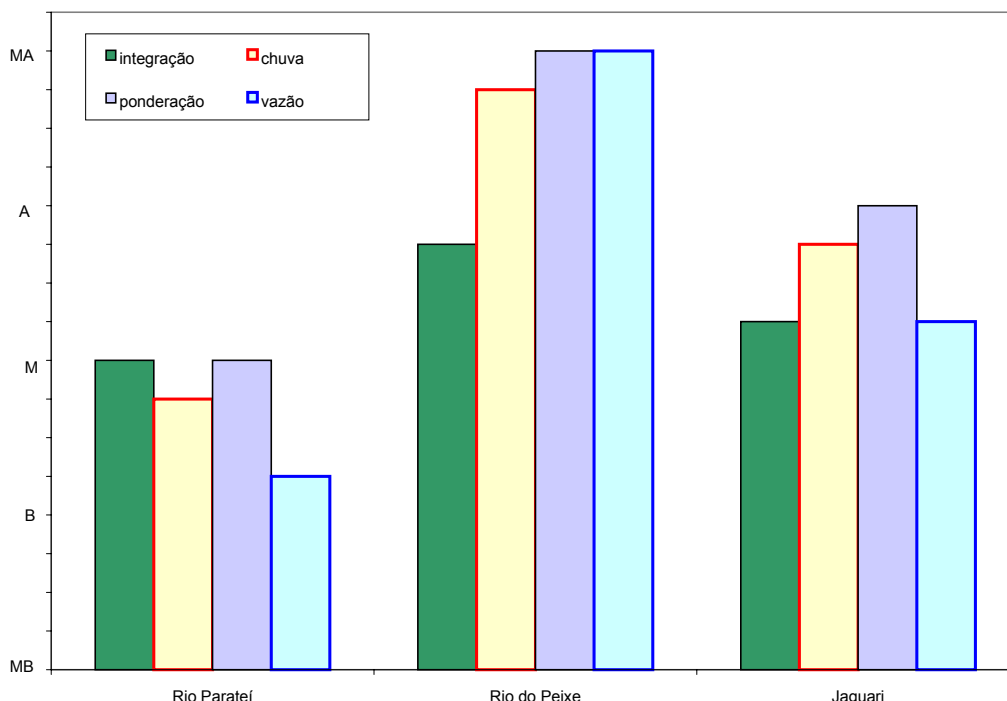
**Tabela 4.14 - Avaliação das tendências e comparação com vazão específica Bacia do rio Jaguari, SP**

Sub-bacias		IND* ou TR	Integração (rel+solos+veg/uso)		Chuva média anual		Tendência Atual	Vazões Específicas Q7,10	
cod	Afluente		num	classe	mm	classe		l/s.km²	classe
2319	Rio Parateí	IND	2,93	M	1.383	M-	M	3,97	B+
2251	Rio do Peixe	IND	3,50	A-	1.834	MA-	MA	9,44	MA
2294	Rio Jaguari	TR	3,21	M	1.514	M+	M	-	-
<b>Total Jaguari</b>		<b>IND</b>	<b>3,26</b>	<b>M+</b>	<b>1.610</b>	<b>A-</b>	<b>A</b>	<b>6,55</b>	<b>M+</b>

\* IND - sub-bacias individualizadas, com mais de 200km²; TR – trechos intermediários.

Tal como nas bacias dos rios Paraitinga/Paraibuna, a expansão da cobertura florestal em áreas onde as condições do meio físico são mais críticas poderá contribuir para maior disponibilidade hídrica na bacia do rio Jaguari, especialmente nas áreas em torno da represa de Jaguari, onde a predominância de pastagens em condição relevo-solos do tipo **Mo5-PV** configura disponibilidade hídrica atual baixa (B).

As vazões específicas Q7-10 identificadas para os rios da bacia do Jaguari não estão discrepantes em relação à tendência atual de disponibilidade hídrica avaliada e apresentam boa correspondência com as condições ambientais das bacias (**tabela 4.14 e figura 4.3**).



**Figura 4.3 - Tendências de disponibilidade hídrica, chuva média anual e vazão específica - Bacia do rio Jaguari, SP**

Na resultante da integração relevo+solos+vegetação/uso, a sub-bacia do rio Parateí apresenta 33% de sua área nas classes A e MA, o que influencia a sua tendência para média disponibilidade hídrica. No entanto, o uso agropecuário sobre podzólicos se expressa no percentual ocupado pela classe de baixa (B) disponibilidade hídrica (64%), condição que parece refletir-se na vazão específica encontrada para este rio (**tabela 4.14**). O intenso uso agrícola existente nas várzeas deste rio também pode estar refletindo uma vazão mais baixa, devido ao alto consumo de água para irrigação.

Na sub-bacia do rio do Peixe, ao contrário, com 50% de suas terras nas classes mais altas de disponibilidade hídrica, definidas pela integração meio físico-vegetação/uso, o elevado valor de Q7-10 identificado para este rio reflete bem a tendência atual (ponderada com a também elevada pluviosidade) de muito alta (MA) disponibilidade hídrica nesta bacia, o que acaba por afetar a tendência identificada para a bacia do rio Jaguari, como um todo.

#### **4.4.3.3 Bacias dos Rios Preto e Paraibuna (MG/RJ)**

O rio Paraibuna, que nasce em Minas Gerais, percorre a região de Juiz de Fora e deságua em Três Rios (RJ), forma a terceira maior sub-bacia afluente do rio Paraíba do Sul, juntamente com as bacias dos rios Pomba e Muriaé, todas ocupando áreas superiores a 8.000km². Entre seus afluentes, merecem destaque as sub-bacias dos rios Preto e do Peixe, ambas afluentes pela margem direita do curso principal. Estas sub-bacias, juntas, ocupam cerca de 70% da área total da bacia do rio Paraibuna.

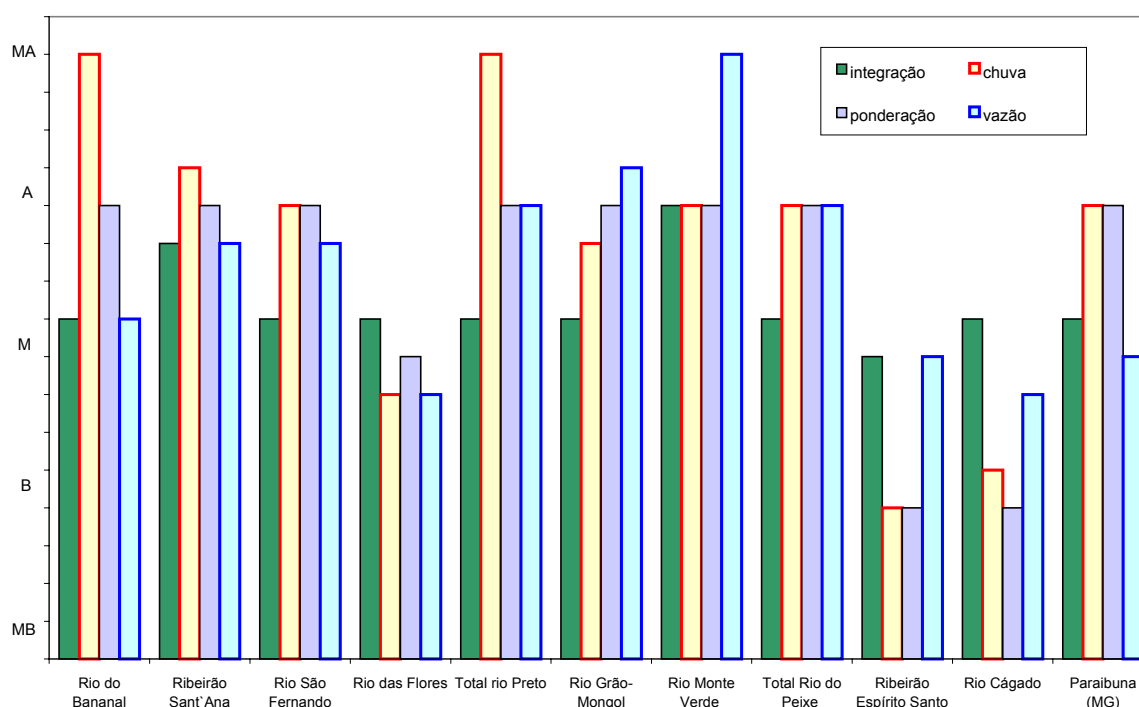
A sub-bacia do rio Preto, formada por quatro afluentes principais de grande porte, apresenta valores muito elevados de chuva média anual, o que eleva sua tendência, dada pela integração relevo+solos+vegetação/uso, de média para alta disponibilidade hídrica (tabelas 4.15, 4.16 e figura 4.4).

**Tabela 4.15 - Classes resultantes da integração relevo+solos+vegetação/uso na bacia do rio Paraibuna, MG/RJ**

Sub-bacias		Áreas Contidas nas Classes Resultantes da Integração Relevo+Solos+Vegetação/Uso (ha e %)					
cod	Afluentes	MA	A	M	B	MB	Total
2228	Rio do Bananal		20.900	6.804	8.912	0	36.616
		0	57	19	24	0	100
2075	Ribeirão Sant'Ana	5.720	15.832	848	7.304	0	29.704
		19	53	3	25	0	100
2354	Rio São Fernando	3.532	4.200	23.516	0	0	31.248
		11	13	75	0	0	100
2171	Rio Bonito	2.684	5.248	24.248	88	0	32.268
		8	16	75	0	0	100
2219	Rio das Flores	5.496	4.400	14.696	664	0	25.256
		22	17	58	3	0	100
<b>Rio das Flores(+Bonito)</b>		<b>8.180</b>	<b>9.648</b>	<b>38.944</b>	<b>752</b>	<b>0</b>	<b>57.524</b>
		<b>14</b>	<b>17</b>	<b>68</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>100</b>
2340	Rio Preto	22.632	60.344	60.968	21.728	44	165.716
		14	36	37	13	0	100
<b>Total rio Preto (MG/RJ)</b>		<b>40.064</b>	<b>110.924</b>	<b>131.080</b>	<b>38.696</b>	<b>44</b>	<b>320.808</b>
		<b>12</b>	<b>35</b>	<b>41</b>	<b>12</b>	<b>0</b>	<b>100</b>
2371	Rio Vermelho	2.012	10.768	7.508	16.644	0	36.932
		5	29	20	45	0	100
2282	Rio Grão-Mongol	2.400	17.532	552	3.816	0	24.300
		10	72	2	16	0	100
<b>Rio Grão Mongol (+Vermelho)</b>		<b>4.412</b>	<b>28.300</b>	<b>8.060</b>	<b>20.460</b>	<b>0</b>	<b>61.232</b>
		<b>7</b>	<b>46</b>	<b>13</b>	<b>33</b>	<b>0</b>	<b>100</b>
2250	Rio do Peixe	15.088	56.000	22.988	38.588	0	132.664
		11	42	17	29	0	100
2303	Rio Monte Verde ou Santa Bárbara	5.956	13.772	1.804	3.852	0	25.384
		23	54	7	15	0	100
<b>Total Rio do Peixe (MG)</b>		<b>25.456</b>	<b>98.072</b>	<b>32.852</b>	<b>62.900</b>	<b>0</b>	<b>219.280</b>
		<b>12</b>	<b>45</b>	<b>15</b>	<b>29</b>	<b>0</b>	<b>100</b>
1970	Ribeirão Espírito Santo	1.432	2.748	22.612	12	0	26.804
		5	10	84	0	0	100
2180	Rio Cágado	8.688	28.676	34.672	15.168	0	87.204
		10	33	40	17	0	100
<b>Rio Cágado (+ Esp. Santo)</b>		<b>10.120</b>	<b>31.424</b>	<b>57.284</b>	<b>15.180</b>	<b>0</b>	<b>114.008</b>
		<b>9</b>	<b>28</b>	<b>50</b>	<b>13</b>	<b>0</b>	<b>100</b>
2314	Rio Paraibuna	15.508	60.100	43.996	24.688	0	144.292
		11	42	30	17	0	100
<b>Total Paraibuna (MG)</b>		<b>91.148</b>	<b>300.520</b>	<b>265.212</b>	<b>141.464</b>	<b>44</b>	<b>798.388</b>
		<b>11</b>	<b>38</b>	<b>33</b>	<b>18</b>	<b>0</b>	<b>100</b>

**Tabela 4.16 - Avaliação das tendências e comparação com vazão específica  
Bacia do rio Paraíba, MG/RJ**

Sub-bacias		IND* ou TR	Integração (rel+solos+veg/uso)		Chuva média anual		Tendência Atual	Vazões Específicas Q7,10	
cod	Afluente		num	classe	mm	classe		l/s.km²	classe
2228	Rio do Bananal	IND	3,33	M	1.921	MA	A	6,52	M+
2075	Ribeirão Sant'Ana	IND	3,67	A	1.764	A	A	6,95	A-
2354	Rio São Fernando	IND	3,36	M	1.684	A	A	6,82	A-
2171	Rio Bonito	IND	3,33	M	1.439	M	M	5,06	M
2219	Rio das Flores	TR	3,58	A	1.318	B	M	-	-
<b>Rio das Flores(+Bonito)</b>		<b>IND</b>	<b>3,44</b>	<b>M</b>	<b>1.380</b>	<b>M</b>	<b>M</b>	<b>4,86</b>	<b>M-</b>
2340	Rio Preto	TR	3,51	A	1.879	MA	MA	-	A
<b>Total rio Preto (MG/RJ)</b>		<b>IND</b>	<b>3,47</b>	<b>M</b>	<b>1.886</b>	<b>MA</b>	<b>A</b>	<b>7,18</b>	<b>A</b>
2371	Rio Vermelho	IND	2,95	M	1.614	A	A	9,91	MA
2282	Rio Grão-Mongol	TR	3,27	M	1.579	A	A	-	-
<b>Rio Grão-Mongol(+Vermelho)</b>		<b>IND</b>	<b>3,36</b>	<b>M</b>	<b>1.600</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>8,78</b>	<b>A+</b>
2250	Rio do Peixe	TR	3,36	M	1.679	A	A	-	-
2303	Rio Monte Verde ou Santa Bárbara	IND	3,86	A	1.720	A	A	10,94	MA
<b>Total Rio do Peixe (MG)</b>		<b>IND</b>	<b>3,39</b>	<b>M</b>	<b>1.662</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>7,66</b>	<b>A</b>
1970	Ribeirão Espírito Santo	IND	3,21	M	1.281	B	B	5,78	M
2180	Rio Cágado	TR	3,35	M	1.346	M	M	-	-
<b>Rio Cágado (+ Esp. Santo)</b>		<b>IND</b>	<b>3,32</b>	<b>M</b>	<b>1.331</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>4,74</b>	<b>M-</b>
2314	Rio Paraíba	TR	3,46	M	1.539	M	M	-	-
<b>Total Paraíba (MG)</b>		<b>IND</b>	<b>3,43</b>	<b>M</b>	<b>1.683</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>5,71</b>	<b>M</b>



**Figura 4.4 - Tendências de disponibilidade hídrica, chuva média anual e vazão específica  
- Bacia do rio Paraíba, MG/RJ**

É interessante observar que em grande parte da bacia do rio Preto, especialmente nas sub-bacias dos afluentes pela margem direita (rio das Flores e rio São Fernando), as condições atuais de vegetação e uso do solo configuram disponibilidade hídrica média para áreas onde o meio físico apresenta características de alta disponibilidade, dadas pela combinação de latossolo vermelho-amarelo (**LV**) em relevo moderado (**Mo5**). Nas áreas onde ocorrem florestas, sobre essa combinação relevo-solos, a classe de disponibilidade resultante da integração temática sobe para muito alta.



Por outro lado, situação contrária também se observa na bacia do rio Preto. Nos contrafortes da Serra da Mantiqueira e do Maciço do Itatiaia, onde nasce parte da bacia, extensas áreas de florestas e capoeiras elevam a disponibilidade hídrica para alta, onde a ocorrência de cambissolos configuram disponibilidade média para o meio físico.

Com exceção da bacia do rio das Flores, nas demais sub-bacias e trecho incremental da bacia do rio Preto, as chuvas acentuaram a tendência observada na integração relevo+solos+veg/uso, de média para alta disponibilidade hídrica. Essa tendência foi confirmada pelas vazões específicas identificadas para os rio Preto e seus afluentes (**tabela 4.16 e figura 4.4**). Esta bacia apresentou uma das melhores correspondências entre disponibilidade e vazão Q7-10, entre todas as grandes bacias analisadas.

A bacia do rio do Peixe, segundo maior afluente do rio Paraibuna, também apresenta tendência para alta disponibilidade hídrica, resultante da influência dos elevados valores de chuva média anual sobre as tendências da integração meio físico com vegetação/uso (**tabela 4.16 e figura 4.4**). Também se verifica que a predominância das pastagens (73% da bacia) reduziu a disponibilidade hídrica dada pelas condições do meio físico, com expressiva ocorrência nas classes de alta e muito alta disponibilidade, resultante da combinação de latossolo (**LV**) com relevo dos tipos **Fa5** (muito alta) e **Fo5** (alta).

A bacia do rio Paraibuna acompanha as tendências atuais das sub-bacias de seus maiores afluentes (rios Preto e do Peixe), de alta disponibilidade hídrica, resultante dos elevados valores de chuva média anual em condições de média disponibilidade, definidas pela integração meio físico+vegetação/uso.

A vazão estimada para o rio do Peixe corresponde às tendências avaliadas de disponibilidade hídrica de suas respectivas sub-bacias. Os elevados valores de vazão específica nos afluentes do rio do Peixe podem estar refletindo as condições mais favoráveis à infiltração de água nos solos, demonstradas nos percentuais ocupados pelas classes mais altas de disponibilidade hídrica, nas respectivas sub-bacias, especialmente na sub-bacia do rio Monte Verde (ver **tabela 4.15**). No entanto, também podem estar refletindo maior cobertura florestal naquelas sub-bacias, em períodos anteriores ao do mapeamento de vegetação e uso do solo utilizado (Geroe, 1995), tendo em vista que as vazões estão relacionadas a séries históricas. Dados do IBGE indicam que no período de 1985-95 houve aumento de área com lavouras e pastagens e extração de lenha de matas nativas em alguns municípios que abrangem essas bacias, significando alterações na cobertura vegetal e uso do solo e, portanto, uma diferença temporal que a avaliação da tendência atual de disponibilidade hídrica não incorpora.

Para o rio Paraibuna, observa-se uma diferença entre a tendência atual (alta) e a vazão específica (M). Ao analisar essa pequena discrepância (na qual as classes estão próximas e não diametralmente opostas), verificou-se que a vazão Q7-10 do posto de Santa Fé (código 58620000), situado próximo à foz do rio Paraibuna, apresenta uma diferença de cerca 20% em relação ao valor obtido na regionalização. Embora esteja no limite da margem de erro da curva de regressão ajustada, essa diferença explica a discrepância observada, tendo em vista que o valor do posto é superior, resultando numa vazão específica de cerca de 7 l/s.km<sup>2</sup>, classificada como alta (A), conforme **tabela 4.10**.

Observa-se ainda, na bacia do Paraibuna, uma das situações em que baixos valores de chuva média anual reduziram a tendência dada pela integração meio físico +

vegetação/uso de média para baixa disponibilidade hídrica: a sub-bacia do rio Cágado e seu afluente ribeirão Espírito Santo. No entanto, as vazões específicas se mantêm mais elevadas em ambos os rios, em classes coerentes com as condições ambientais. Ressalta-se que as condições do meio físico na sub-bacia do ribeirão Espírito Santo são extremamente favoráveis à disponibilidade hídrica, sendo uma das poucas sub-bacias totalmente inseridas nas classes de alta e muito alta disponibilidade.

#### 4.4.3.4 Bacia do Rio Piabanha

Apesar de ter, em relação à média da bacia do Paraíba do Sul, um elevado percentual de cobertura vegetal, com florestas em 29% e capoeiras em 35% de seu território, a bacia do rio Piabanha apresenta tendência geral de média disponibilidade hídrica, para as condições resultantes da integração relevo+solos+vegetação/uso do solo (**tabela 4.17**). Essa tendência é determinada pela combinação de relevo forte ondulado a montanhoso com solos rasos e afloramentos de rocha, que confere ao meio físico a condição de baixa disponibilidade hídrica.

**Tabela 4.17 - Classes resultantes da integração relevo+solos+vegetação/uso na bacia do rio Piabanha - RJ**

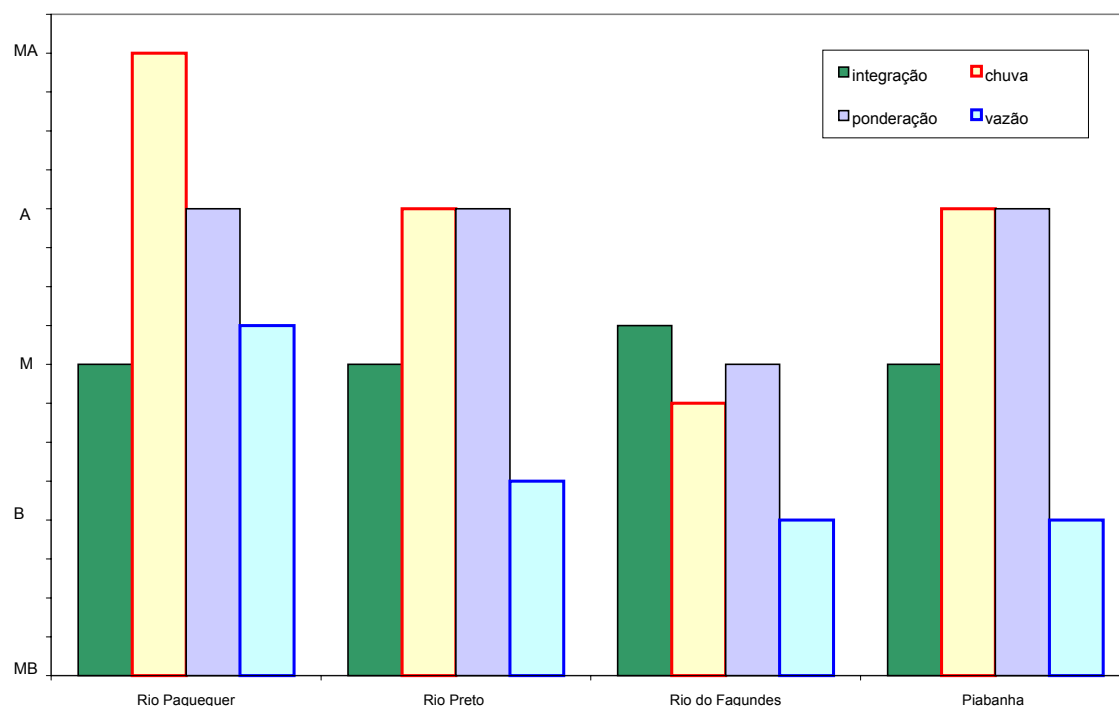
Sub-bacias		Áreas Contidas nas Classes Resultantes da Integração Relevo+Solos+Vegetação/Uso (ha e %)					
cod	Afluentes	MA	A	M	B	MB	Total
2311	Rio Paquequer	1.752 7	5.448 22	14.020 56	1.760 7	2.184 9	25.164 100
2341	Rio Preto	9.596 12	28.360 36	16.584 21	20.844 26	3.672 5	79.056 100
<b>Total rio Preto (RJ)</b>		<b>11.348 11</b>	<b>33.808 32</b>	<b>30.604 29</b>	<b>22.604 22</b>	<b>5.856 6</b>	<b>104.220 100</b>
2243	Rio do Fagundes	5.232 19	10.708 38	4.524 16	7.364 26	436 2	28.264 100
2325	Rio Piabanha	5.796 11	6.616 12	18.604 34	15.904 29	7.124 13	54.044 100
<b>Total rio Piabanha</b>		<b>22.376 12</b>	<b>51.132 27</b>	<b>53.732 29</b>	<b>45.872 25</b>	<b>13.416 7</b>	<b>186.528 100</b>

Nessa condição, em que as taxas de infiltração e armazenamento de água nos solos tendem a ser menores do que na maior parte da bacia do Paraíba do Sul, a cobertura florestal existente, mesmo sendo relativamente maior, não é suficiente para elevar a tendência da bacia para a classe de alta disponibilidade hídrica. No entanto, tendo em vista a elevada pluviosidade da Região Serrana, os critérios de ponderação com chuva média anual acabaram colocando a bacia do rio Piabanha em uma tendência final de alta disponibilidade hídrica.

Essa tendência não foi confirmada pelas vazões específicas Q7-10 estimadas pela regionalização, que apresentam-se baixas nos rios Preto e Piabanha, diferindo significativamente da tendência atual de disponibilidade hídrica (**tabela 4.18 e figura 4.5**) e apresentando coerência somente com as condições do meio físico. Do ponto de vista dos meios de aferição do método de análise, ou seja, das vazões estimadas na regionalização, observa-se dois aspectos:

**Tabela 4.18 - Avaliação das tendências e comparação com vazão  
Bacia do rio Piabanha - RJ**

Sub-bacias		IND*	Integração (rel+solos+veg/uso)		Chuva média anual		Tendência Atual	Vazões Específicas Q7,10	
cod	Afluente		num	classe	mm	classe		l/s.km²	classe
2311	Rio Paquequer	IND	3.11	M	1923	MA	A	6.21	M+
2341	Rio Preto	TR	3.24	M	1569	A-	A	-	-
<b>Total rio Preto (RJ)</b>		<b>IND</b>	<b>3.21</b>	<b>M</b>	<b>1655</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>3.9</b>	<b>B+</b>
2243	Rio do Fagundes	IND	3.46	M+	1353	M-	M	3.19	B
2325	Rio Piabanha	TR	2.78	M	1719	A	A	-	-
<b>Total rio Piabanha</b>		<b>IND</b>	<b>3.12</b>	<b>M</b>	<b>1621</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>3.37</b>	<b>B</b>



**Figura 4.5 - Tendências de disponibilidade hídrica, chuva média anual e vazão específica  
- Bacia do rio Piabanha, RJ**

- 1) No rio Preto, a vazão Q7-10 calculada com os dados do posto próximo à sua foz (Tristão Câmara, código 58427000) é mais alta do que a vazão estimada na regionalização e representaria uma vazão específica de 6,8 l/s.km², classificada como alta, tendendo para média (A-) e, portanto, mais coerente com a tendência de disponibilidade hídrica avaliada para esta bacia;
- 2) A vazão Q7-10 calculada com os dados do posto Moura Brasil (código 58440000), situado na foz do rio Piabanha, apresenta-se menor do que a vazão a montante, do posto Tristão Câmara, localizado na foz do seu afluente, rio Preto. Esta inconsistência se reflete no ajuste da curva de regressão, resultando em valores estimados de Q7-10 inferiores para toda a bacia. Essa análise indica a necessidade de se realizar uma análise de consistência nos dados do posto Moura Brasil.

Observa-se, no entanto, que a vazão Q7-10 estimada pela regionalização para o rio Paquequer é mais alta do que as vazões estimadas para os rios Preto e Piabanha e mais coerente com a distribuição percentual das classes resultantes da integração relevo+solos+veg/uso, que indicam condição mais favorável à disponibilidade hídrica,

com poucas áreas na classe de baixa disponibilidade. Vale ressaltar que a bacia do rio Paquequer apresenta o mais elevado percentual de florestas (46%), dentre todas as sub-bacias do Paraíba do Sul, apresentando também bom percentual de capoeiras (30%); além disso, as pastagens ocupam apenas 6% desta bacia.

Além do aspecto relacionado à base de dados fluviométricos disponível para a bacia do rio Piabanha, essa discrepância também pode estar expressando a influência de problemas com escalas e classificação dos mapas temáticos utilizados. Uma hipótese relevante, neste sentido, refere-se ao mapa de cobertura vegetal e uso do solo do Geroe (1995), onde provavelmente muitas áreas agrícolas foram mapeadas como vegetação secundária, distorcendo o resultado da análise do efeito da vegetação na disponibilidade hídrica.

A bacia do rio Piabanha, portanto, apresenta características ambientais muito delicadas para a disponibilidade hídrica, que apontam para uma necessidade prioritária de proteção das florestas existentes, que atualmente cobrem parte (não toda) da área mais crítica quanto às condições do meio físico (cambissolos em relevo EFo5 e MFo4), bem como apontam para a necessidade de recuperação de áreas estratégicas para o aumento das taxas de infiltração nas sub-bacias e de aplicação de critérios rigorosos para controle da ocupação e usos do solo e da água.

#### 4.4.3.5 Bacias dos Rios Grande, Negro e Dois Rios

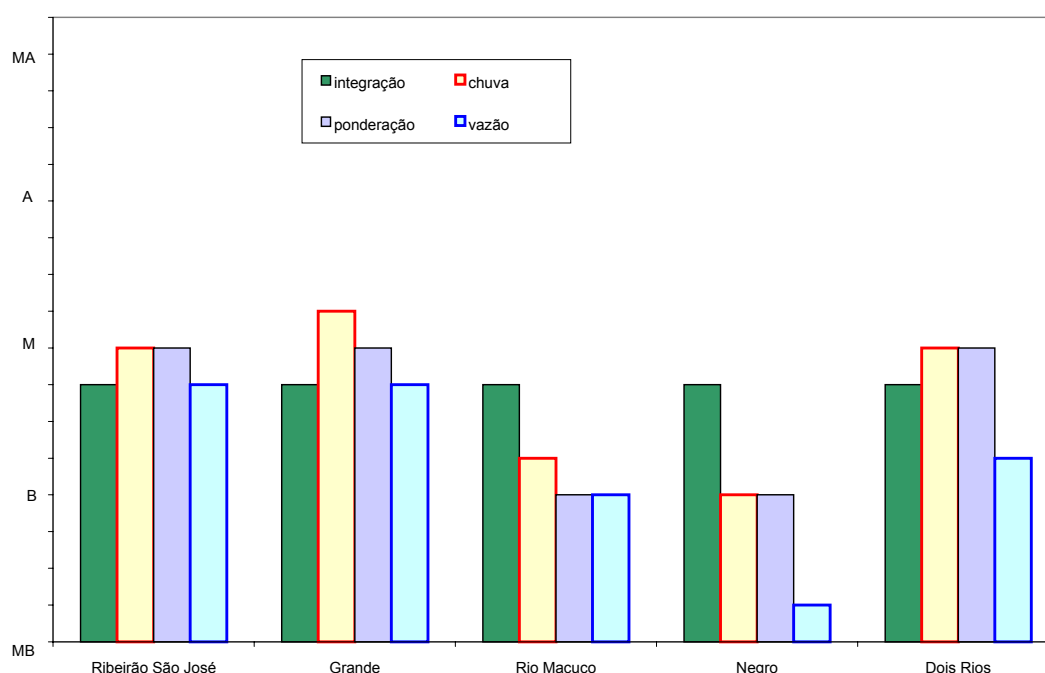
A bacia do rio Dois Rios, formada essencialmente pelas sub-bacias dos rios Grande e Negro, que também situam-se na região serrana, apresenta uma tendência de disponibilidade hídrica mais baixa do que a bacia do rio Piabanha (**tabelas 4.19, 4.20 e figura 4.6**).

**Tabela 4.19 - Classes resultantes da integração relevo+solos+vegetação/uso nas bacias dos rios Grande, Negro e Dois Rios - RJ**

Sub-bacias		Áreas Contidas nas Classes Resultantes da Integração Relevo+Solos+Vegetação/Uso (ha e %)					
cod	Afluentes	MA	A	M	B	MB	Total
2281	Rio Grande	8.660 6	5.648 4	61.064 40	69.916 46	6.732 4	152.020 100
2115	Ribeirão São José	0	0	15.828 64	8.844 36	76 0	24.748 100
<b>Total do rio Grande</b>		<b>8.660 5</b>	<b>5.648 3</b>	<b>76.892 43</b>	<b>78.760 45</b>	<b>6.808 4</b>	<b>176.768 100</b>
2296	Rio Macuco	716 3	940 4	8.984 36	14.084 57	92 0	24.816 100
2305	Rio Negro	6.036 6	11.772 12	13.560 14	65.720 67	372 0	97.460 100
<b>Total do rio Negro</b>		<b>6.752 6</b>	<b>12.712 10</b>	<b>22.544 18</b>	<b>79.804 65</b>	<b>464 0</b>	<b>122.276 100</b>
2265	Rio Dois Rios	0	992 6	1.364 8	14.960 86	0	17.316 100
<b>Total do rio Dois Rios</b>		<b>15.412 5</b>	<b>19.352 6</b>	<b>100.800 32</b>	<b>173.524 55</b>	<b>7.272 2</b>	<b>316.360 100</b>

**Tabela 4.20 - Avaliação das tendências e comparação com vazão  
Bacias dos rios Grande, Negro e Dois Rios - RJ**

Sub-bacias		IND* ou TR	Integração (rel+solos+veg/uso)		Chuva média anual		Tendência Atual	Vazões Específicas Q7,10	
cod	Afluente		num	classe	mm	classe		l/s.km²	classe
2281	Rio Grande	TR	2,60	M	1.569	A	A	-	-
2115	Ribeirão São José	IND	2,64	M	1.433	M	M	4,94	M-
<b>Total do rio Grande</b>		<b>IND</b>	<b>2,61</b>	<b>M</b>	<b>1.550</b>	<b>M</b>	<b>M</b>	<b>4,90</b>	<b>M-</b>
2296	Rio Macuco	IND	2,52	M	1.306	B	B	3,02	B
2305	Rio Negro	TR	2,56	M	1.278	B	B	-	-
<b>Total do rio Negro</b>		<b>IND</b>	<b>2,55</b>	<b>M</b>	<b>1.284</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>2,13</b>	<b>MB+</b>
2265	Rio Dois Rios	TR	2,19	B	1.333	B	B	-	-
<b>Total do rio Dois Rios</b>		<b>IND</b>	<b>2,56</b>	<b>M</b>	<b>1.435</b>	<b>M</b>	<b>M</b>	<b>4,07</b>	<b>B+</b>



**Figura 4.6 - Tendências de disponibilidade hídrica, chuva média anual e vazão específica  
- Bacias dos rios Grande, Negro e Dois Rios - RJ**

Na análise da integração temática (relevo+solos+veg/uso), ambas as bacias – Grande e Negro – incluindo as sub-bacias de seus afluentes, apresentaram tendência de média→baixa disponibilidade hídrica, determinada pelas peculiares características de relevo e solos dessa região, que configuram baixa disponibilidade hídrica ao meio físico na maior parte da bacia - cambissolos e podzólicos sobre relevo com graus de dissecação muito forte (**MFo4 e MFo5**) e extremamente forte (**EFo5**) – parcialmente elevada pela presença de florestas em 22% e capoeiras em 20% do total da bacia (Dois Rios).

Os percentuais mais elevados de florestas e capoeiras (29% e 25%) da bacia do rio Grande, juntamente com a influência da chuva média anual, refletiu-se em uma vazão específica Q7-10 superior a do rio Negro e coerente com a tendência atual da bacia.

Da mesma forma, a vazão específica no rio Negro, situada ainda um pouco abaixo da tendência identificada nesta bacia (já baixa), parece refletir de modo coerente as condições ambientais da bacia, com percentual mais baixo de cobertura florestal (17%), predomínio de pastagens (67%) e baixa pluviosidade, reunindo, portanto, todas as condições desfavoráveis à disponibilidade hídrica.

#### 4.4.3.6 Bacia do Rio Pomba

A maior sub-bacia do rio Paraíba do Sul (com 8.616km<sup>2</sup>) é formada por diversos afluentes de pequeno e médio porte. Seu maior afluente, o rio Novo, ocupa 25% de toda sua extensão, com uma área total superior a 2.000km<sup>2</sup>. O rio Xopotó forma a segunda maior sub-bacia do rio Pomba, ocupando uma área de aproximadamente 1.250km<sup>2</sup>, no curso superior. Os demais afluentes do rio Pomba, com sub-bacias individualizadas neste estudo, têm dimensões inferiores a 500km<sup>2</sup>. O trecho intermediário, onde estão as sub-bacias não individualizadas (com menos de 200km<sup>2</sup>) representa 40% da área total da bacia.

A vasta rede de canais desta bacia está relacionada à condição predominante do meio físico, de muito alta (MA) disponibilidade hídrica, dada pela ocorrência de latossolos em relevo de fraca dissecação (ou suave ondulado) com densidade de drenagem muito fina (**Fa5**). No entanto, as condições atuais de vegetação e uso do solo na bacia reduzem essa condição. A bacia do rio Pomba apresenta o mais baixo percentual de cobertura florestal (3%) entre todas as grandes bacias formadoras do rio Paraíba do Sul. As capoeiras ocupam menos de 6% e as pastagens ocupam quase toda a bacia (87%). A facilidade de acesso e uso do solo da bacia, com o relevo menos acidentado, acabou por reduzir grande parte da sua capacidade natural de infiltração de água, configurando-a com uma tendência para média disponibilidade hídrica, na integração relevo+solos+veg/uso (**tabela 4.21**).

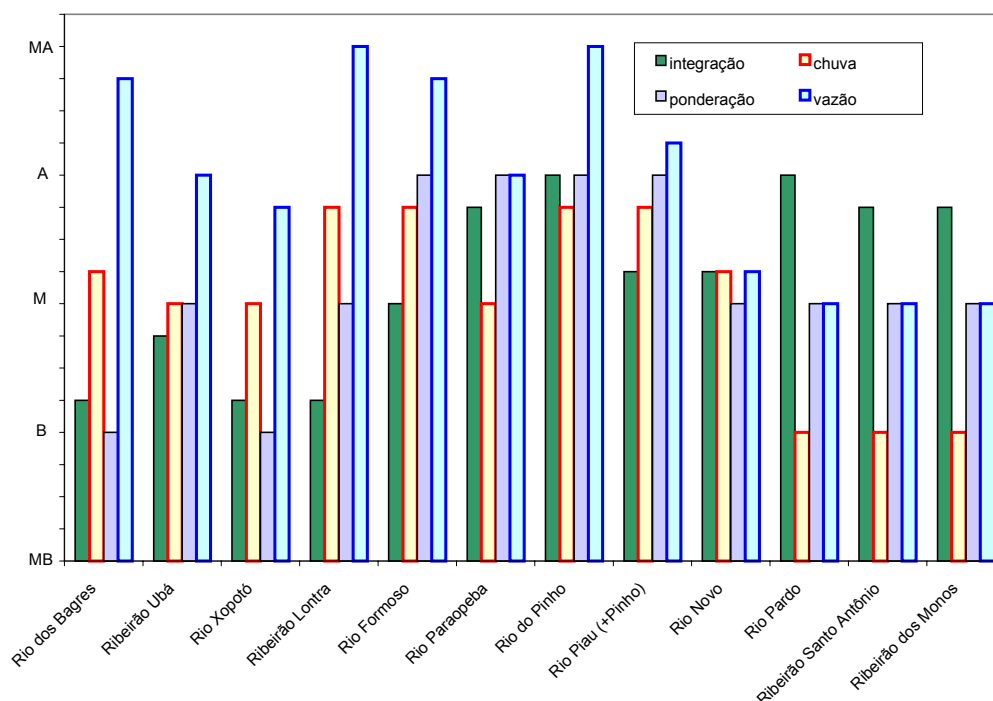
**Tabela 4.21 - Classes resultantes da integração relevo+solos+vegetação/uso nas bacia do rio Pomba, MG**

Sub-bacias		Áreas Contidas nas Classes Resultantes da Integração Relevo+Solos+Vegetação/Uso (ha e %)					
cod	Afluentes	MA	A	M	B	MB	Total
2267	Rio dos Bagres	776 2	840 3	4.924 16	24.964 79	0	31.504 100
2148	Ribeirão Ubá	712 2	7.564 23	2.292 7	21.960 68	0	32.528 100
2373	Rio Xopotó	392 1	2.068 3	648 1	57.688 95	0	60.796 100
<b>Total rio Xopotó</b>		<b>1.880 2</b>	<b>10.472 8</b>	<b>7.864 6</b>	<b>104.612 84</b>	<b>0</b>	<b>124.828 100</b>
2006	Ribeirão Lontra	0	1.136 6	6.260 31	12.992 64	0	20.388 100
2275	Rio Formoso	1.216 3	15.208 39	5.096 13	17.704 45	0	39.224 100
2317	Rio Paraopeba	1.648 4	28.940 62	10.216 22	6.140 13	0	46.944 100
2254	Rio do Pinho	5.040 14	28.164 77	2.732 7	872 2	0	36.808 100
2327	Rio Piau	328 2	2.296 13	708 4	14.352 81	0	17.684 100
<b>Rio Piau (+Pinho)</b>		<b>5.368 10</b>	<b>30.460 56</b>	<b>3.440 6</b>	<b>15.224 28</b>	<b>0</b>	<b>54.492 100</b>
2307	Rio Novo	12.080 8	66.332 44	57.940 38	14.100 9	768 1	151.220 100
<b>Total rio Novo</b>		<b>17.448 8</b>	<b>96.792 47</b>	<b>61.380 30</b>	<b>29.324 14</b>	<b>768 0</b>	<b>205.712 100</b>
2320	Rio Pardo	5.116 15	18.980 57	9.156 28	0	0	33.252 100
2095	Ribeirão Santo Antônio	2.040 9	11.608 52	7.152 32	1.364 6	0	22.164 100
1942	Ribeirão dos Monos	1.416 7	12.928 64	4.780 24	1.152 6	0	20.276 100
2337	Rio Pomba	16.800 5	139.496 40	57.648 17	123.264 36	8.936 3	346.144 100
<b>Total rio Pomba</b>		<b>47.564 6</b>	<b>335.560 39</b>	<b>169.552 20</b>	<b>296.552 35</b>	<b>9.704 1</b>	<b>858.932 100</b>

A distribuição de chuva média anual, que apresenta valores médios na maior parte da bacia, eleva um pouco a tendência resultante da integração relevo+solos+veg/uso nas poucas sub-bacias onde as chuvas são mais altas do que em geral (no ribeirão Lontra e nos rios Formoso e Piau). Nas sub-bacias do curso médio-inferior da bacia do rio Pomba (rios Pardo e Santo Antônio e ribeirão dos Monos) ocorre o inverso, ou seja, valores baixos de chuva média anual reduzem as tendências de disponibilidade hídrica da classe de alta para média (tabela 4.22 e figura 4.7).

**Tabela 4.22 - Avaliação das tendências e comparação com vazão**  
**Bacia do rio Pomba, MG**

Sub-bacias		IND* ou TR	Integração (rel+solos+veg/uso)		Chuva média anual		Tendência Atual	Vazões Específicas Q7,10	
cod	Afluente		num	classe	mm	classe		l/s.km²	classe
2267	Rio dos Bagres	IND	2,28	B	1.554	M	B	9,17	MA-
2148	Ribeirão Ubá	IND	2,60	M	1.443	M	M	8,06	A
2373	Rio Xopotó	TR	2,10	B	1.466	M	B	-	-
<b>Total rio Xopotó</b>		<b>IND</b>	<b>2,28</b>	<b>B</b>	<b>1.482</b>	<b>M</b>	<b>B</b>	<b>6,92</b>	<b>A-</b>
2006	Ribeirão Lontra	IND	2,42	B	1.566	A	M	10,26	MA
2275	Rio Formoso	IND	3,00	M	1.585	A	A	9,22	MA-
2317	Rio Paraopeba	IND	3,56	A	1.447	M	A	7,54	A
2254	Rio do Pinho	IND	4,02	A	1.595	A	A	9,52	MA
2327	Rio Piau	TR	2,36	B	1.557	M	B	-	-
<b>Rio Piau (+Pinho)</b>		<b>IND</b>	<b>3,48</b>	<b>M</b>	<b>1.583</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>8,76</b>	<b>A+</b>
2307	Rio Novo	TR	3,50	M	1.495	M	M	-	-
<b>Total rio Novo</b>		<b>IND</b>	<b>3,49</b>	<b>M</b>	<b>1.518</b>	<b>M</b>	<b>M</b>	<b>6,21</b>	<b>M+</b>
2320	Rio Pardo	IND	3,88	A	1.278	B	M	5,73	M
2095	Ribeirão Santo Antônio	IND	3,65	A	1.198	B	M	5,11	M
1942	Ribeirão dos Monos	IND	3,72	A	1.214	B	M	5,26	M
2337	Rio Pomba	TR	3,09	M	1.487	M	M	-	-
<b>Total rio Pomba</b>		<b>IND</b>	<b>3,13</b>	<b>M</b>	<b>1.476</b>	<b>M</b>	<b>M</b>	<b>4,53</b>	<b>M-</b>



**Figura 4.7 - Tendências de disponibilidade hídrica, chuva média anual e vazão específica**  
**- Bacia do rio Pomba, MG**



Os valores de vazão específica Q7-10 estimados para a bacia do rio Pomba estão coerentes com a tendência atual de disponibilidade hídrica avaliada, no curso principal e na maior parte dos afluentes. Porém, nos afluentes do curso superior, a vazão aparece um pouco acima do esperado e significativamente discrepante na sub-bacia do rio Xopotó (**tabela 4.22 e figura 4.7**).

Analisando os dados da regionalização de vazões, observou-se que a vazão Q7-10 do posto situado próximo à foz deste rio (Barra do Xopotó, código 58736000) é muito inferior ao valor estimado na regionalização. Com os dados deste posto, a vazão específica Q7-10 da bacia do Xopotó seria inferior a 1,0 l/s.km<sup>2</sup> e, portanto, coerente com a tendência de baixa disponibilidade hídrica avaliada (destaca-se que 84% desta bacia encontra-se na classe B, da integração relevo+solos+veg/uso, conforme **tabela 4.21**).

A diferença observada pode ser explicada pelos critérios adotados no estudo de regionalização de vazões (CPRM, 2002). Nesse estudo, verificou-se que a bacia do rio Xopotó apresenta características físicas muito específicas, não se enquadrando na região homogênea onde está inserida a bacia do rio Pomba. Como existe apenas um posto fluviométrico na bacia do rio Xopotó, foi impossível estabelecer uma única equação de regionalização para esta bacia, optando-se, então, por incluí-la na região homogênea definida para o rio Pomba.

De acordo com os mapas do Projeto Radambrasil, utilizados para caracterização de relevo e solos desta pesquisa (**itens 3.1 e 3.2**), de fato, na bacia do rio Xopotó há uma condição única de relevo+solos, com uma extensa área de podzólico vermelho-amarelo, sobre um relevo de fraca dissecação e densidade de drenagem muito fina (**Fa5**), ocupando quase toda a bacia. Esta combinação (que também ocorre na bacia do rio Jaguari e no curso inferior da bacia do rio Muriaé), determina disponibilidade hídrica média, para as características do meio físico.

O ribeirão Lontra também apresenta vazão específica mais alta do que indicam as condições de relevo+solos+veg/uso (64% B) de sua bacia, ponderadas com a chuva (A), que resultam em uma tendência para média disponibilidade hídrica (**tabela 4.22**). Esta discrepância não pode ser analisada através da regionalização de vazões, porque não existe estação fluviométrica neste rio. Porém, é possível que a causa seja a mesma verificada para a bacia do rio Xopotó, tendo em vista que a bacia do ribeirão Lontra também apresenta condições de meio físico diferenciadas da maior parte da bacia do rio Pomba – cambissolos em relevo forte ondulado (**Fo4**) – que determinam média disponibilidade hídrica. Assim como na sub-bacia do Xopotó, o predomínio de pastagens e a escassez de florestas e capoeiras, reduzem a tendência em ambas as sub-bacias para a classe de baixa disponibilidade hídrica, resultante da integração relevo+solos+veg/uso. Na ponderação com a chuva média anual, esta tendência “volta” para a classe de média, somente na sub-bacia do ribeirão Lontra.

#### **4.4.3.7 Bacia do Rio Muriaé**

A bacia do rio Muriaé também apresenta expressiva área com ocorrência de latossolos em relevo do tipo **Fa5** e características semelhantes à bacia do rio Pomba quanto à cobertura vegetal e uso do solo – apenas 4% de cobertura florestal, 7% de capoeiras e pastagens dominando a paisagem (82%) – características essas que reduzem a tendência de alta disponibilidade hídrica, definida pelo meio físico, para média disponibilidade na maior parte da bacia (**tabela 4.23**).

**Tabela 4.23 - Classes resultantes da integração relevo+solos+vegetação/uso nas bacia do rio Muriaé - MG**

Sub-bacias		Áreas Contidas nas Classes Resultantes da Integração Relevo+Solos+Vegetação/Uso (ha e %)					
cod	Afluentes	MA	A	M	B	MB	Total
1689	Ribeirão Bom Jesus	8 0	2.344 9	19.076 70	5.556 20	352 1	27.336 100
2186	Rio Carangola	12.480 7	45.944 26	45.708 26	49.872 29	20.668 12	174.672 100
<b>Total rio Carangola</b>		<b>12.488 6</b>	<b>48.288 24</b>	<b>64.784 32</b>	<b>55.428 27</b>	<b>21.020 10</b>	<b>202.008 100</b>
2278	Rio Fumaça	1.152 5	2.456 11	17.572 81	388 2		21.568 100
2338	Rio Preto	1.828 7	3.092 12	18.060 71	2.584 10		25.564 100
<b>Rio Preto (+Fumaça)</b>		<b>2.980 6</b>	<b>5.548 12</b>	<b>35.632 76</b>	<b>2.972 6</b>	<b>0</b>	<b>47.132 100</b>
2280	Rio Glória	3.880 4	4.868 4	80.900 74	14.928 14	4.120 4	108.696 100
2279	Rio Gavião	3.632 10	19.196 53	1.352 4	5.104 14	7.228 20	36.512 100
1703	Rib. Cachoeira Alegre	4.564 15	11.532 38	13.456 44	1.124 4		30.676 100
2353	Rio São Domingos		444 2		18.132 65	9.232 33	27.808 100
634	Córrego da Onça	316 1	3.500 11	516 2	26.320 86		30.652 100
2374	Vala da Onça	132 1	992 10	6.252 63	1.808 18	728 7	9.912 100
<b>Vala da Onça (+Cór. Onça)</b>		<b>448 1</b>	<b>4.492 11</b>	<b>6.768 17</b>	<b>28.128 69</b>	<b>728 2</b>	<b>40.564 100</b>
2304	Rio Muriaé	11.804 4	76.456 24	50.104 16	159.548 50	22.560 7	320.472 100
<b>Total rio Muriaé</b>		<b>39.796 5</b>	<b>170.824 21</b>	<b>252.996 31</b>	<b>285.364 35</b>	<b>64.888 8</b>	<b>813.868 100</b>

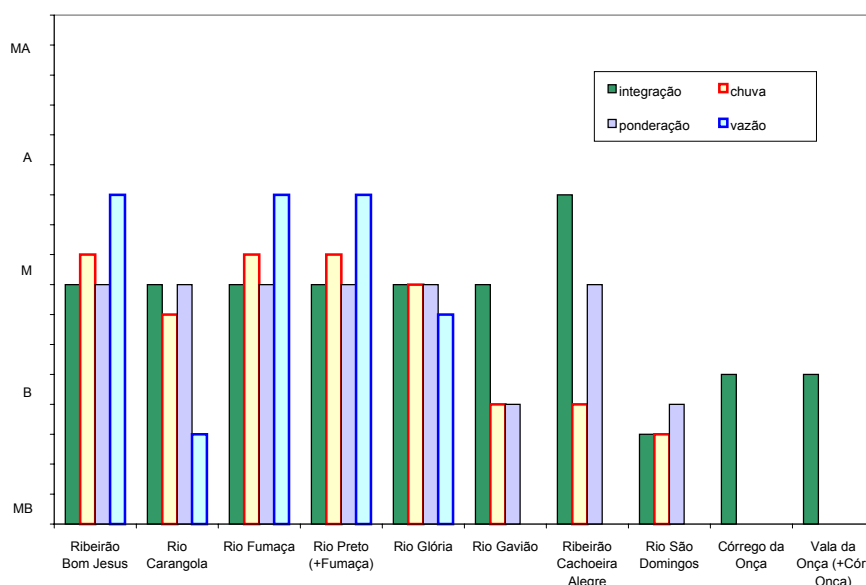
Além disso, também existem áreas com cambissolos em relevo mais acidentado (especialmente na sub-bacia do rio Carangola) e ocorrências mais acentuadas de podzólicos e afloramentos de rocha ao longo dos cursos médio e inferior da bacia, definindo condições de meio físico sobre as quais a predominância de pastagens configura uma tendência para baixa disponibilidade hídrica em ambas as situações, conforme se pode constatar no mapa resultante da integração relevo+solos+veg/uso (**Anexo F**) e na **tabela 4.23**, onde observa-se o predomínio absoluto da classe de baixa disponibilidade hídrica em toda a região da bacia do rio Muriaé a jusante da confluência com o rio Carangola.

No mesmo mapa, observa-se que, na região imediatamente a montante desta confluência (onde predominam os latossolos), a condição resultante da integração relevo+solos+veg/uso é de alta disponibilidade hídrica, mudando para média no curso superior da bacia. Essas variações resultaram em uma tendência de disponibilidade hídrica média na bacia como um todo, para as condições de relevo+solos+veg/uso.

A pluviosidade na bacia do rio Muriaé apresenta, na região dos cursos médio e inferior, os menores valores de chuva média anual estimados para a bacia do Paraíba do Sul. Valores de chuva mais elevados nas sub-bacias do curso superior (rios Fumaça, Preto-2338 e Glória) resultam no aumento da chuva média na bacia do Muriaé como um todo, mantendo a tendência para média disponibilidade hídrica dada pela integração meio físico+vegetação/uso (**tabela 4.24 e figura 4.8**). Entretanto, essa avaliação deve ser considerada com restrições, tendo em vista a escassez de estações pluviométricas nesta bacia (ver mapa “Localização de Estações Pluviométricas”, **Anexo D**).

**Tabela 4.24 - Avaliação das tendências e comparação com vazão  
Bacia do rio Muriaé - MG**

Sub-bacias		IND* ou TR	Integração (rel+solos+veg/uso)		Chuva média anual		Tendência Atual	Vazões Específicas Q7,10	
cod	Afluente		num	classe	mm	classe		l/s.km <sup>2</sup>	classe
1689	Ribeirão Bom Jesus	IND	2,86	M	1.544	M	M	6,94	M+
2186	Rio Carangola	TR	2,88	M	1.356	M	M	-	-
<b>Total rio Carangola</b>		<b>IND</b>	<b>2,88</b>	<b>M</b>	<b>1.382</b>	<b>M</b>	<b>M</b>	<b>2,61</b>	<b>B-</b>
2278	Rio Fumaça	IND	3,20	M	1.547	M	M	7,03	A-
2338	Rio Preto	TR	3,16	M	1.531	M	M	-	-
<b>Rio Preto (+Fumaça)</b>		<b>IND</b>	<b>3,18</b>	<b>M</b>	<b>1.538</b>	<b>M</b>	<b>M</b>	<b>6,65</b>	<b>A-</b>
2280	Rio Glória	IND	2,90	M	1.461	M	M	4,43	M-
2279	Rio Gavião	IND	3,19	M	1.268	B	B	1,61	MB
1703	Ribeirão Cachoeira. Alegre	IND	3,64	A	1.266	B	M	1,47	MB
2353	Rio São Domingos	IND	1,70	B	1.149	B	B	0,62	MB
634	Córrego da Onça	IND	2,28	B	982	MB	MB	0,13	MB
2374	Vala da Onça	TR	2,80	M	953	MB	B	-	-
<b>Vala da Onça (+Córrego Onça)</b>		<b>IND</b>	<b>2,40</b>	<b>B</b>	<b>975</b>	<b>MB</b>	<b>MB</b>	<b>0,12</b>	<b>MB</b>
2304	Rio Muriaé	TR	2,67	M	1.356	M	M	-	M
<b>Total rio Muriaé</b>		<b>IND</b>	<b>2,80</b>	<b>M</b>	<b>1.354</b>	<b>M</b>	<b>M</b>	<b>1,98</b>	<b>MB+</b>



**Figura 4.8 - Tendências de disponibilidade hídrica, chuva média anual e vazão específica  
- Bacia do rio Muriaé, MG**

Do mesmo modo, as vazões apresentam-se altas nas sub-bacias das cabeceiras e muito baixas nas sub-bacias dos cursos médio e inferior da bacia. No curso final do rio Muriaé, as vazões estimadas pela regionalização são discrepantes em relação à tendência atual de disponibilidade hídrica avaliada. Isto deve-se, igualmente, ao problema de escassez de postos fluviométricos na bacia e à inconsistência nos dados dos dois únicos postos situados no extenso trecho a jusante da foz do rio Carangola (ver mapa “Localização de Estações Fluviométricas”, **Anexo D**).

Além dos problemas com a base de dados, outros fatores podem estar relacionados às situações em que as vazões específicas estão mais baixas do que o esperado na avaliação da tendência de disponibilidade hídrica, não só na bacia do rio Muriaé, mas em toda a bacia do rio Paraíba do Sul. Entre eles, podem ser considerados os níveis de consumo de água na bacia, principalmente para irrigação, que são parcamente conhecidos, apesar de serem normalmente bem mais elevados do que para os demais usos. Deve-se também levar em consideração que o regime de chuvas nos cursos médio e inferior desta bacia é marcado por estiagens muito prolongadas e que já

espera-se que a vazão Q7-10, associada a esses períodos, esteja um pouco abaixo da tendência (mediana) da bacia.

#### 4.4.3.8 Bacias Menores

Ao longo do rio Paraíba do Sul, desde o trecho paulista da bacia, até seu curso inferior, próximo a São Fidélis (RJ), deságuam 17 afluentes de pequeno a médio porte, cujas bacias têm mais de 200km<sup>2</sup>.

No trecho paulista do rio Paraíba do Sul, até a barragem de Funil, existem cinco afluentes nesta categoria: os rios Buquira, Una, Bocaina, Passa-Vinte e Itagaçaba, contados de montante para jusante do curso principal. No trecho fluminense, deságua a maior parte desses afluentes: rios Pirapetinga (2334), Barreiro de Baixo, Turvo, do Bananal (2229), Pirai, Ubá (2367), Calçado, Paquequer (2310), ribeirão das Areias e rio do Colégio. Pelo lado mineiro, somente os rios Angu e Pirapetinga (2333).

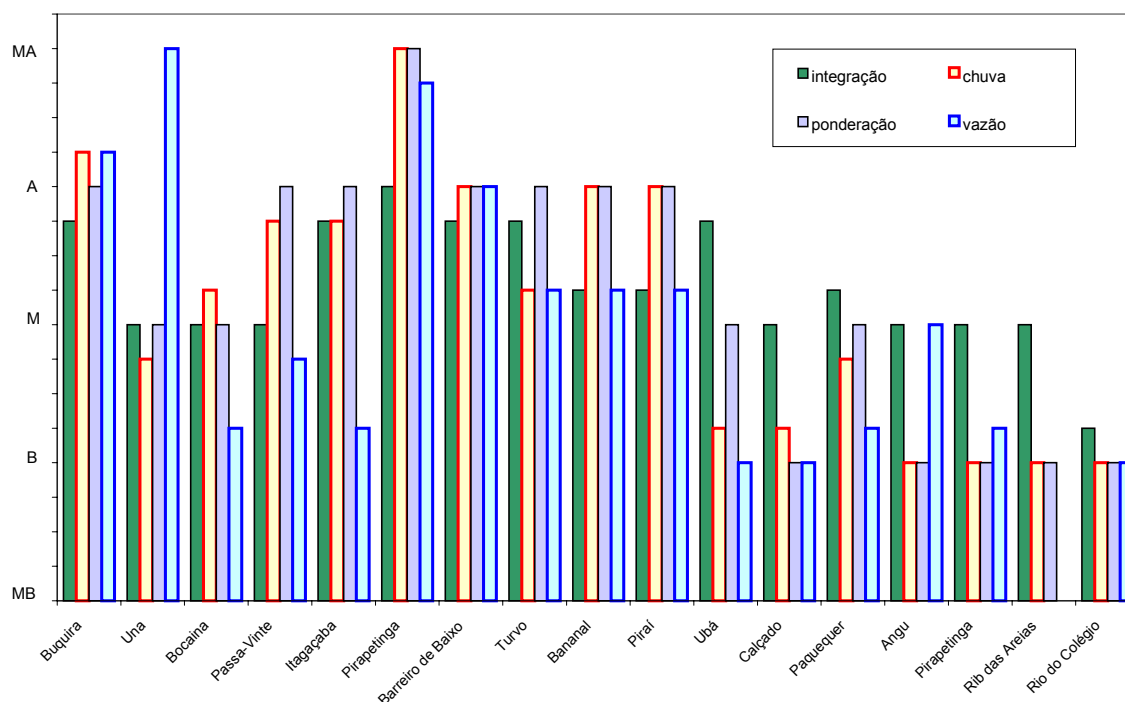
Os dados referentes à integração relevo+solos+veg/uso de todas essas sub-bacias estão apresentados no respectivo mapa (**Anexo F**) e na **tabela 4.25**. E os dados resultantes da ponderação com chuva e comparação com vazão estão apresentados na **tabela 4.26** e **figura 4.9**. No texto a seguir, são analisadas com mais detalhe apenas algumas sub-bacias com aspectos peculiares ou que apresentaram discrepância na comparação das tendências de disponibilidade hídrica com as vazões específicas.

**Tabela 4.25 - Classes resultantes da integração relevo+solos+vegetação/uso nas Sub-bacias menores**

Sub-bacias		Áreas Contidas nas Classes Resultantes da Integração Relevo+Solos+Vegetação/Uso (ha e %)					
cod	Afluentes	MA	A	M	B	MB	Total
2177	Rio Buquira	10.484 26	8.372 21	15.432 39	5.612 14	0	<b>39.900</b> 100
2368	Rio Una	1.800 4	10.756 23	11.968 25	22.640 48	0	<b>47.164</b> 100
2199	Rio da Bocaina	2.020 8	9.260 36	4.236 16	10.184 40	0	<b>25.700</b> 100
2035	Ribeirão Passa-Vinte	3.076 9	10.204 29	13.740 39	8.052 23	100 0	<b>35.172</b> 100
2288	Rio Itagaçaba	1.392 5	17.812 66	5.432 20	2.516 9	0	<b>27.152</b> 100
2334	Rio Pirapetinga	9.084 38	6.428 27	2.304 10	5.436 23	524 2	<b>23.776</b> 100
2230	Rio Barreiro de Baixo	1.660 7	12.956 58	4.796 21	2.904 13	160 1	<b>22.476</b> 100
2363	Rio Turvo	4.596 11	19.620 48	16.724 41	4 0	0	<b>40.944</b> 100
2229	Rio do Bananal	4.936 10	25.368 49	8.036 16	12.968 25	4 0	<b>51.312</b> 100
2332	Rio Pirai	28.140 26	24.992 23	17.936 16	38.012 35	0	<b>109.080</b> 100
2367	Rio Ubá	11.204 25	19.092 42	1.692 4	13.536 30	0	<b>45.524</b> 100
2182	Rio Calçado	1.560 5	15.640 54	144 0	11.804 40	0	<b>29.148</b> 100
2310	Rio Paquequer	8.648 11	37.720 49	13.208 17	17.452 23	20 0	<b>77.048</b> 100
2163	Rio Angu	1.880 5	1.916 5	32.192 86	1.644 4	0	<b>37.632</b> 100
2333	Rio Pirapetinga	4.888 7	13.476 20	33.556 49	17.056 25	0	<b>68.976</b> 100
1801	Ribeirão das Areias	7.996 19	13.124 31	132 0	21.624 50	0	<b>42.876</b> 100
2239	Rio do Colégio	0	0	8.048 40	11.468 57	736 4	<b>20.252</b> 100

**Tabela 4.26 - Avaliação das tendências e comparação com vazão  
Sub-bacias menores**

Sub-bacias		IND* ou TR	Integração (rel+solos+veg/uso)		Chuva média anual		Tendência Atual	Vazões Específicas Q7,10	
cod	Afluente		núm	classe	mm	classe		l/s.km²	classe
2177	Rio Buquira	IND	3,59	A-	1.753	A+	A	8,61	A+
2368	Rio Una	IND	2,82	M	1.346	M-	M	1,76	MB+
2199	Rio da Bocaina	IND	3,12	M	1.547	M+	M	4,09	B+
2035	Ribeirão Passa-Vinte	IND	3,23	M	1.563	A-	A	4,60	M-
2288	Rio Itagaçaba	IND	3,67	A-	1.565	A-	A	4,26	B+
2334	Rio Pirapetinga	IND	3,76	A	2.001	MA	MA	8,94	MA-
2230	Rio Barreiro de Baixo	IND	3,58	A-	1.642	A	A	7,26	A
2363	Rio Turvo	IND	3,70	A-	1.539	M+	A	6,42	M+
2229	Rio do Bananal	IND	3,43	M+	1.645	A	A	6,52	M+
2332	Rio Pirai	IND	3,40	M+	1.659	A	A	6,35	M+
2367	Rio Ubá	IND	3,61	A-	1.286	B+	M	2,84	B
2182	Rio Calçado	IND	3,24	M	1.314	B+	B	3,15	B
2310	Rio Paquequer	IND	3,49	M+	1.345	M-	M	4,39	B+
2163	Rio Angu	IND	3,11	M	1.250	B	B	5,02	M
2333	Rio Pirapetinga	IND	3,09	M	1.222	B	B	4,32	B+
1801	Ribeirão das Areias	IND	3,17	M	1.197	B	B	1,43	MB
2239	Rio do Colégio	IND	2,36	B+	1.322	B	B	3,63	B



**Figura 4.9 - Tendências de disponibilidade hídrica, chuva média anual e vazão específica  
- Bacia menores**

A sub-bacia do rio Buquira destaca-se por apresentar uma das melhores condições ambientais relacionadas à disponibilidade hídrica na bacia do rio Paraíba do Sul. A presença de florestas em 26% de sua extensão e de capoeiras em 16%, sobre latossolo vermelho-amarelo (**LV**), em relevo com grau moderado de dissecação e densidade de drenagem muito fina (**Mo5**), resulta em uma tendência para alta disponibilidade hídrica, mantida pela elevada pluviosidade da região. A vazão específica estimada está coerente com esta tendência.

Na sub-bacia do rio Una, predomina o mesmo tipo de relevo, porém, coberto em maior parte por podzólico vermelho-amarelo (**PV**), com ocorrência menor de **LV**, indicando

média disponibilidade hídrica na bacia, para as condições de relevo+solos. Embora 70% de sua área estejam ocupados com pastagens, as áreas ocupadas com reflorestamentos (12%) e capoeiras (11%), contribuem para manter na classe de média a tendência de disponibilidade hídrica resultante da integração do meio físico com vegetação e uso do solo, condição que também não é alterada pela ponderação com a chuva média anual. No entanto, a vazão específica encontrada na regionalização é muito baixa (1,76 l/s.km<sup>2</sup>) e está equivalente à vazão Q7-10 calculada com os dados da estação fluviométrica. A razão da discrepância, portanto, deve ser atribuída a outros aspectos.

Além de possíveis erros na metodologia, uma vazão específica mais baixa do que a tendência avaliada pode estar relacionada a mudanças significativas nas condições de cobertura vegetal e uso do solo nos últimos anos. A dominância de podzólicos na bacia do rio Una é indicativa de intensos processos erosivos e taxas de escoamento superficial bem mais elevadas do que as taxas de infiltração, refletindo uma disponibilidade hídrica mais crítica do que o método utilizado foi capaz de identificar. Outra possível explicação (e bastante polêmica) diz respeito ao consumo de água na bacia, tanto para abastecimento urbano e industrial (esta bacia situa-se em Taubaté), como para suprir as elevadas taxas de crescimento do eucalipto, cultivado em larga escala, na maior parte das áreas classificadas como reflorestamento.

A sub-bacia do ribeirão Passa-Vinte, que nasce nos contrafortes da Serra da Mantiqueira, margem esquerda do Paraíba do Sul, apresenta condições diferenciadas de relevo+solos, variando bruscamente de uma tendência de disponibilidade hídrica muito baixa no curso superior, definida pela ocorrência de cambissolos em relevo montanhoso (**EFo5**), para uma tendência muito alta nos cursos médio e inferior, definida pela presença de latossolos (**LV e LA**) em relevo suave ondulado e plano (**Fa6 e HGH**). O resultado para toda a sub-bacia é uma tendência média, determinada pelo meio físico, mantida na integração com vegetação e uso do solo (graças às florestas, que cobrem 40% da bacia, concentradas no curso superior) e elevada para a classe de alta disponibilidade hídrica, na ponderação com a chuva. Tal como na sub-bacia do rio Una, o valor da vazão específica é mais baixo do que o esperado na avaliação da disponibilidade hídrica e está coincidente com a vazão calculada para o posto existente na bacia. Dentre outros fatores, a causa desta diferença pode também estar relacionada ao consumo de água na bacia, onde existem represas para abastecimento urbano e intenso uso agrícola no baixo curso.

Na sub-bacia do rio Itagaçaba, verifica-se uma discrepância mais acentuada entre a tendência atual de disponibilidade hídrica e a vazão específica, diametralmente opostas. A predominante combinação de relevo suave (**Fa5**) com latossolo (**LV**) determina, para as condições do meio físico, disponibilidade hídrica muito alta em 70% da bacia. Com percentual equivalente de pastagens (74%), a tendência resultante da integração relevo+solos com vegetação/uso diminui mas permanece ainda na classe de alta disponibilidade hídrica, influenciada pela soma das áreas de reflorestamento (13%) e de florestas e capoeiras (10%). A ponderação com a chuva mantém a bacia na classe de alta disponibilidade hídrica, discrepante com a baixa vazão. Como não existe posto fluviométrico nesta bacia, não é possível verificar a causa da discrepância com os dados da regionalização. Além de problemas na base de dados, o consumo de água dos reflorestamentos, concentrados nas cabeceiras da bacia, pode também ser um fator a se considerar como causa da discrepância.

A sub-bacia do rio da Bocaina, adjacente à do rio Itagaçaba, apresenta tendência de média disponibilidade hídrica, tanto para a resultante da integração relevo+solos+veg/uso como para a ponderação desta com a chuva média anual



(tendência atual). Porém, a vazão específica Q7-10 está classificada um pouco abaixo dessa tendência, como baixa→média (B+), o que não representa uma diferença significativa, para os critérios desta avaliação, mas que é expressivo no conjunto de sub-bacias do trecho paulista, onde ocorreram as maiores discrepâncias, todas com vazões mais baixas do que a tendência avaliada.

Nas demais sub-bacias agrupadas neste item não houve discrepâncias significativas entre a vazão específica e a tendência atual de disponibilidade hídrica. Ressalta-se que as vazões Q7-10 representam períodos mais críticos de disponibilidade hídrica e, portanto, podem se apresentar mais baixas do que as tendências avaliadas, que estão ponderadas com a chuva média anual. Vale lembrar também a limitação do método e a escassez de dados nas áreas menores.

Cabe ainda comentar a sub-bacia do rio Pirai, a maior deste conjunto de sub-bacias, ocupando uma área superior a 1.000km<sup>2</sup>. Há muitas décadas, as condições hidráulicas desta bacia foram drasticamente alteradas, com as intervenções para a geração de energia, a partir da transposição da maior parte da vazão do rio Paraíba do Sul para o rio Pirai, no barramento de Santa Cecília (em Barra do Pirai), envolvendo um complexo sistema de usinas e reservatórios. Essa condição invalida a comparação com a vazão específica e direciona a avaliação de disponibilidade hídrica para o contexto de contribuição da bacia ao sistema de reservatórios.

Na distribuição de classes resultantes da integração relevo+solos+veg/uso (ver mapa correspondente no **Anexo F**), observa-se que a bacia do rio Pirai apresenta melhores condições para a disponibilidade hídrica na sua porção superior, devido principalmente ao bom nível de cobertura florestal, o que contribui positivamente para os reservatórios de Tócos e Lajes, do sistema Light, que não recebem águas do Paraíba do Sul. No curso médio-inferior, as condições ambientais caem para a classe de baixa disponibilidade hídrica, definida pela escassez de florestas e predomínio de pastagens sobre uma grande área de ocorrência de podzólicos. Estas condições, desfavoráveis à infiltração de água no solo e favoráveis a elevadas taxas de escoamento superficial, resultando em intensos processos erosivos, são significativamente negativas para os reservatórios de Santana e Vigário, que recebem as águas do rio Paraíba do Sul, já bastante carregadas de sedimentos e poluentes.

#### **4.4.3.6 Trechos ao longo do rio Paraíba do Sul**

Os extensos trechos compostos de sub-bacias com menos de 200km<sup>2</sup>, afluentes do rio Paraíba do Sul, apresentam características ambientais diferenciadas, porém, com exceção do último trecho, de jusante, todos apresentam tendência atual de média disponibilidade hídrica, resultante da integração relevo+solos+veg/uso (**tabela 4.27**). Nos três últimos trechos, a pluviosidade média anual reduz a tendência para a classe inferior (**tabela 4.28**). Como são trechos incrementais intermediários, não é possível isolar a contribuição para o rio Paraíba do Sul que provém das sub-bacias com mais de 200km<sup>2</sup>. Desta forma, não houve comparação das tendências avaliadas com vazões específicas.



**Tabela 4.27 - Classes resultantes da integração relevo+solos+vegetação/uso nos trechos ao longo do rio Paraíba do Sul**

Paraíba do Sul		Áreas Contidas nas Classes Resultantes da Integração Relevo+Solos+Vegetação/Uso (ha e %)					
cod	Trecho	MA	A	M	B	MB	Total
5000	Trecho Paulista - Funil	40.460 8	151.948 32	94.608 20	190.276 40	448 0	477.740 100
5001	Funil até Santa Cecília	26.664 12	89.200 40	36.736 16	67.872 30	4.440 2	224.912 100
5002	Sta Cecília - Três Rios	13.972 11	35.008 29	5.356 4	67.312 55	0	121.648 100
5003	Três Rios - Itaocara	15.084 9	24.732 14	42.600 25	89.760 52	0	172.176 100
5004	Itaocara - Foz	1.604 2	6.720 8	11.460 13	59.132 67	9.664 11	88.580 100

**Tabela 4.28 - Avaliação das tendências e comparação com vazão  
Trechos ao longo do rio Paraíba do Sul**

Rio Paraíba do Sul		IND* ou TR	Integração (rel+solos+veg/uso)		Chuva média anual		Tendência Atual	Vazões Específicas Q7,10	
cod	Trecho		num	classe	mm	classe		l/s.km²	classe
5000	Trecho Paulista - Funil	TR	3,09	M	1.451	M	M	-	-
5001	Funil até Santa Cecília	TR	3,29	M+	1.537	M+	M	-	-
5002	Sta Cecília - Três Rios	TR	2,96	M	1.188	B	B	-	-
5003	Três Rios - Itaocara	TR	2,80	M	1.243	B	B	-	-
5004	Itaocara - Foz	TR	2,23	B	1.014	MB	MB	-	-

No primeiro trecho (5000), destaca-se a grande planície fluvial do rio Paraíba do Sul, com solos hidromórficos, tipo glei úmico (**HGH**) e as áreas adjacentes, de relevo plano e suave ondulado (**MFa3 e Fa5**), onde predominam os latossolos. Nessa região, de boa disponibilidade hídrica, desenvolveram-se as maiores cidades do trecho paulista da bacia (São José dos Campos, Taubaté, Pindamonhangaba, etc.) com seu grande parque industrial, convivendo com as lavouras de várzea, cada vez menores. Nas áreas de montante das sub-bacias, o relevo fica mais acidentado, chegando a montanhoso (serra da Mantiqueira) e os solos menos favoráveis à infiltração de água. As florestas ainda existentes neste trecho se concentram nas áreas montanhosas, elevando a condição de baixa disponibilidade hídrica, determinada pelo meio físico, para média disponibilidade.

Neste primeiro trecho, destaca-se também a grande mancha de podzólico vermelho-amarelo (**PV**), que se estende a jusante das bacias Paraitinga/Paraibuna, para a bacia do rio Jaguari, na margem esquerda do Paraíba do Sul e para a bacia do rio Una, na margem direita. A predominância de pastagens sobre essa mancha de **PV** define a tendência de baixa disponibilidade hídrica observada no mapa, tendência que pode se refletir em baixas vazões nas sub-bacias que drenam para o reservatório de Santa Branca.

O trecho seguinte, que compreende as sub-bacias com menos de 200km² situadas entre Funil e Santa Cecília, apresenta tendência atual de média disponibilidade hídrica, que reflete situações antagônicas da integração relevo+solos+veg/uso. Por um lado, apresenta condições ambientais mais favoráveis à disponibilidade hídrica, na região que drena para o reservatório de Funil, estendendo-se até a sub-bacia do rio Barreiro de Baixo, e na margem oposta, em expressiva área de muito alta disponibilidade, que se estende por grande parte da sub-bacia do rio Pirapetinga (2334). Por outro lado, na grande área entre as sub-bacias dos rios Bananal e Piraí, observa-se o predomínio da classe de baixa disponibilidade hídrica, que avança para a margem oposta do rio Paraíba do Sul. Nesta área situam-se indústrias de grande porte

e as maiores cidades deste trecho (Barra Mansa, Volta Redonda e Barra do Piraí), envolvidas por extensas pastagens degradadas, com inúmeras voçorocas e ravinas, resultantes de um avançado processo de erosão. Os tipos de solo são determinantes nesta variação, sobre o mesmo tipo de relevo e uso do solo (pastagem): latossolos nas áreas mais favoráveis e podzólicos nas menos favoráveis à disponibilidade hídrica neste trecho da bacia do Paraíba do Sul.

Do trecho 5002 em diante, passa a predominar a tendência de baixa disponibilidade hídrica em toda a área ao longo do rio Paraíba do Sul, em ambas as margens. A vasta ocorrência de podzólicos nestes trechos influencia essa tendência, consolidada pela predominância de pastagens e pelas baixas pluviosidades. Somente em algumas áreas com fragmentos florestais mais expressivos, nos divisores do trecho 5002 com a bacia do rio Preto e em uma parte da porção mineira do trecho 5003, as características da integração relevo-solos com vegetação/uso configuram muito alta disponibilidade hídrica.

No último trecho, a predominância absoluta da classe de baixa disponibilidade hídrica determinada pela integração relevo+solos+veg/uso, com os baixos índices de pluviosidade média anual, configuram a única região da bacia com tendência atual na classe de muito baixa (MB) disponibilidade hídrica.

Destaca-se que, o baixo percentual de florestas e capoeiras é fator decisivo para a tendência atual dos trechos, de média a muito baixa disponibilidade hídrica, tendo em vista que as condições de relevo+solos ao longo destes trechos são favoráveis, determinando classes de muito alta a média disponibilidade hídrica (de montante para jusante). Sobre essas condições, maiores áreas de capoeiras e florestas, com os índices de chuva existentes, poderiam elevar a tendência dos trechos para as classes de alta e média disponibilidade.

Nas áreas montanhosas dos trechos 5000 e 5001, nas cabeceiras das sub-bacias afluentes, ainda se encontra expressivos remanescentes de florestas. No entanto, as condições de relevo+solos são muito desfavoráveis à disponibilidade hídrica, o que se observa na condição máxima atingida nessas áreas - de média disponibilidade - com a presença de florestas.

#### **4.4.4 Síntese e Discussão dos Resultados**

O método de análise interdisciplinar utilizado para avaliação da disponibilidade hídrica conduziu a algumas conclusões principais sobre a bacia do rio Paraíba do Sul, no que tange às tendências de disponibilidade hídrica determinadas pelas condições do meio físico, da situação atual de cobertura vegetal e uso do solo e da distribuição de chuva média anual. Neste item, são sintetizados e discutidos os resultados obtidos em cada passo da análise e na aferição do método com os dados disponíveis de vazão mínima (Q7-10).

##### **4.4.4.1 Disponibilidade hídrica determinada pelo meio físico**

As características do meio físico da bacia, que se expressam nos tipos de relevo e de solos, são favoráveis à infiltração e conservação da água da chuva na maior parte da bacia do rio Paraíba do Sul. A combinação entre as classes de relevo e de solos configura disponibilidade hídrica *muito alta* em 26%, *alta* em 21% e *média* em 42% das terras da bacia (**tabela E.2, no Anexo E**).

Utilizando-se a ponderação numérica na distribuição percentual das classes, para avaliar as tendências de disponibilidade hídrica determinadas pelas características do meio físico, observa-se que a maior parte (53%) do conjunto de áreas individualizadas (sub-bacias com mais de 200km<sup>2</sup> e trechos incrementais com sub-bacias menores), apresenta tendência para *alta* disponibilidade hídrica.

Nas três maiores bacias afluentes do Paraíba do Sul (Paraibuna, Pomba e Muriaé), algumas sub-bacias de menor porte destacam-se por apresentar características extremamente favoráveis de relevo+solos, com mais de 90% de suas terras nas classes de *alta* e/ou *muito alta* disponibilidade hídrica. Na bacia do rio Paraibuna, estão, nessa condição, as sub-bacias do rio São Fernando e do rio das Flores, afluentes do rio Preto, e a sub-bacia do ribeirão Espírito Santo, afluente do rio Cágado. Na bacia do rio Pomba, as sub-bacias do rio do Pinho e do rio Pardo. E, na bacia do rio Muriaé, as sub-bacias dos rios Fumaça e Preto. Entre as sub-bacias menores, encontra-se também, nessa condição mais favorável de relevo+solos, as bacias dos rios Turvo e Angu.

No sentido oposto, o estudo demonstrou que as condições do meio físico nas áreas mais acidentadas e montanhosas conferem, de modo geral, tendências para baixa disponibilidade hídrica às sub-bacias. No entanto, é somente na Região Serrana, no trecho fluminense da bacia do rio Paraíba do Sul, que se observa sub-bacias (com mais de 200km<sup>2</sup>) em condições de relevo e solos extremamente desfavoráveis à infiltração e armazenamento de água, tanto na bacia do rio Piabanha como na bacia do rio Dois Rios. A sub-bacia do rio São José, afluente do rio Grande está totalmente inserida na classe de *baixa* disponibilidade hídrica, por sua combinação de cambissolos em relevo com graus de dissecação mais fortes.

Há uma questão importante a ser observada sobre essas características do meio físico da bacia do Paraíba do Sul. Os aspectos que conferem condições mais favoráveis à infiltração e conservação de água no sistema são também aspectos que podem reverter essas condições quando a cobertura vegetal e as formas de uso do solo são desfavoráveis, facilitando a instalação de intensos processos erosivos. Relevo com grau de dissecação mais fraco e solos bem estruturados, como nas combinações de **Fa5/6+LV**, resistem mais à erosão, porém a elevada densidade de drenagem passa a funcionar como facilitadora da erosão laminar e da formação de sulcos e ravinas, que podem evoluir para voçorocamentos, especialmente nas áreas com maiores índices pluviométricos. Vale observar também que *grau de dissecação* tem uma relação direta com amplitude de relevo (diferenças de altitudes) e não com declividade. Ou seja, o relevo pode ter fraco grau de dissecação, porém apresentar áreas com encostas mais íngremes, o que se torna um fator decisivo para o aumento das taxas de escoamento superficial e, portanto, para a evolução de processos erosivos, que tendem a se agravar na medida em que os solos sejam mais desfavoráveis (como os podzólicos que ocorrem na bacia).

#### **4.4.4.2 Disponibilidade hídrica resultante da integração com vegetação e uso do solo**

Os resultados da análise interdisciplinar demonstram que as condições atuais de cobertura vegetal e uso do solo na bacia reduzem significativamente a capacidade de retenção de água do meio físico na bacia do Paraíba do Sul, passando a caracterizá-la com 10% na classe de *muito alta* disponibilidade hídrica, 30% na classe de *alta* e 24% na classe de *média* disponibilidade. A classe de *baixa* disponibilidade, que, para as condições dadas pelo meio físico, representaria apenas 9% da bacia, passa a ocupar o maior percentual (35%), entre as demais classes.

A destruição das florestas naturais, reduzidas para 11% de sua área original, associada à atividade agropecuária, com predominância de pastagens extensivas, sem práticas de conservação de solo e com alta frequência de queimadas, resulta em uma tendência à redução das taxas de infiltração de água nos solos. Conseqüentemente, ocorre uma diminuição na quantidade de água disponível no sistema, devido à elevação das taxas de escoamento superficial, que conduz à uma saída mais rápida da água da chuva para os canais principais e para fora da bacia, bem como conduz à deterioração da qualidade da água superficial, por efeito dos processos erosivos.

As florestas remanescentes concentram-se em regiões de relevo mais acidentado e montanhoso, onde as condições do meio físico são mais restritivas, melhorando as tendências de disponibilidade hídrica e reduzindo os altos riscos naturais de erosão nas sub-bacias dessas regiões, o que se observa especialmente na Região Serrana, no trecho fluminense da bacia do Paraíba do Sul.

Utilizando-se a ponderação numérica nas classes de disponibilidade hídrica resultantes da integração meio físico+veg/uso, para avaliação das tendências das sub-bacias, observou-se que as áreas nas classes extremas (MA e MB) não chegam a ter peso decisivo na tendência de classe de nenhuma sub-bacia ou trecho. Ou seja, nesta integração, as tendências das sub-bacias e trechos se apresentaram entre baixa e alta. Em termos de área total ocupada, a maior parte encontra-se na classe de *média* disponibilidade hídrica (76%), restando apenas 19% na classe de *alta* e 6% na classe de *baixa* disponibilidade.

Verifica-se que a tendência dos trechos incrementais, que ocupam maiores áreas, reforça a tendência do conjunto para esta classe. Analisando-se somente a soma das áreas das sub-bacias individualizadas (> 200km<sup>2</sup>), que representa apenas 34% do conjunto, a proporção entre as classes é semelhante, com um pouco mais de representatividade na classe de *alta* disponibilidade hídrica - 63% na classe de *média*, 30% na classe de *alta* e 7% na classe de *baixa*.

Esse resultado, que difere substancialmente da tendência dada pelo meio físico, representa, em maior parte, o impacto negativo da redução da cobertura florestal e da expansão generalizada de pastagens mal manejadas, condições essas que reduzem para *média* e *baixa* disponibilidade hídrica situações onde o meio físico apresentava tendências para classes mais elevadas. Em menor proporção, esse resultado inclui também situações onde os remanescentes florestais elevam a capacidade de retenção de água para o sistema, acima daquela determinada somente pelo meio físico.

Verificou-se que, das 40 sub-bacias/trechos que estavam na classe de *alta* disponibilidade hídrica para o meio físico, somente 35% permanecem nesta classe, após a integração com as condições atuais de vegetação e uso do solo; a maior parte foi reduzida para a classe de *média* disponibilidade hídrica. Das 25 sub-bacias/trechos cujas características do meio físico indicam tendência para a classe de *média* disponibilidade hídrica, a maior parte (64%) permaneceu nessa condição; seis foram reduzidas para a classe de *baixa* e apenas duas foram elevadas à classe de *alta* disponibilidade – a sub-bacia do rio Pirapetinga (2334), afluente da margem esquerda do Paraíba do Sul no trecho fluminense, que apresenta 37% de cobertura florestal, e o trecho incremental da bacia do rio Paraibuna (SP), com 21% de cobertura florestal. E, entre as sete sub-bacias/trechos que se situam na classe de *baixa* disponibilidade hídrica para o meio físico, duas permaneceram nessa condição e cinco foram

elevadas para a classe de *média* disponibilidade, todas as cinco pertencentes à Região Serrana (RJ).

#### 4.4.4.3 Disponibilidade hídrica atual resultante da ponderação com a chuva

Na maior parte da bacia (54%), os índices de pluviosidade foram considerados médios (entre 1340 e 1560mm), para a amplitude de valores de chuva média anual estimados. Em 20% da área da bacia ocorrem índices altos de chuva média anual (1560 a 1780mm). E, em 6%, índices muito altos (1780 a 2001mm). No restante da bacia, 17% apresentam índices baixos (1120-1340mm) e em apenas 2% os índices foram considerados muito baixos, até o limite mínimo de 900mm (ver item 3.4).

A ponderação entre a distribuição de chuvas na bacia e suas condições ambientais atuais, resultou em uma nova configuração, alterando o número e a área ocupada por sub-bacias/trechos com tendência para *média* disponibilidade hídrica, algumas elevadas para a classe de *alta* e outras reduzidas para a classe de *baixa* disponibilidade. O peso da chuva também colocou algumas sub-bacias/trechos em tendências extremas (MA e MB), o que não se verificou na resultante da integração relevo+solos+veg/uso. A distribuição final, em termos de área total e número de sub-bacias/trechos, em cada classe, é apresentada na tabela 4.29 a seguir.

**Tabela 4.29 - Tendência atual de disponibilidade hídrica, resultante da ponderação entre relevo+solos+veg/uso e chuva média anual), distribuída por área (km²) e número de sub-bacias/trechos.**

Classe	Área total sub-bacias + trechos (km²)	%	Área total sub-bacias (km²)	%	Número total sub-bacias + trechos	%	Número sub-bacias	%
MA	2.706	4,9	932	5,0	3	3,9	2	4,1
A	13.108	23,6	7.304	39,0	24	31,6	18	36,7
M	29.887	53,8	6.696	35,8	30	39,5	18	36,7
B	8.568	15,4	3.468	18,5	17	22,4	10	20,4
MB	1.269	2,3	307	1,6	2	2,6	1	2,0
<b>Total</b>	<b>55.539</b>	<b>100,0</b>	<b>18.707</b>	<b>100,0</b>	<b>76</b>	<b>100,0</b>	<b>49</b>	<b>100,0</b>

Dentre as 20 sub-bacias/trechos que, para a integração relevo+solos+veg/uso, foram classificadas com tendência para *alta* disponibilidade hídrica, a ponderação com chuva elevou três destas para a classe de *muito alta* disponibilidade – a sub-bacia do rio do Peixe, afluente do Jaguari, a sub-bacia do rio Pirapetinga (2334), que apresentou o mais alto índice de chuva média anual de toda a bacia do Paraíba do Sul (2001mm), e o trecho incremental da bacia do rio Preto (2340), afluente do rio Paraibuna (MG/RJ). Do restante, sete sub-bacias/trechos foram reduzidas para a classe de *média* e dez permaneceram na classe de *alta* disponibilidade hídrica.

Dentre as 47 sub-bacias/trechos classificadas, na integração temática, com tendência de *média* disponibilidade hídrica, 22 permaneceram nessa condição, 14 foram elevadas para *alta* e 11 foram reduzidas para a classe de *baixa* disponibilidade hídrica, após a ponderação com chuva. Dentre os trechos que foram reduzidos, destacam-se os dois penúltimos trechos incrementais do Paraíba do Sul (5002 e 5003), formando, junto com o último trecho (5004), que foi reduzido de 'B' para 'MB', uma grande área crítica quanto à disponibilidade hídrica na bacia. Esta área engloba ainda a sub-bacia do córrego da Onça, no curso final do rio Muriaé.



Das sub-bacias/trechos que já apresentavam, para as condições da integração meio físico+vegetação/uso, tendência para *baixa* disponibilidade hídrica, somente uma foi elevada para a classe de *média* disponibilidade – a sub-bacia do ribeirão Lontra, afluente do alto curso do rio Pomba – por apresentar valor alto de chuva média anual. E, as únicas que se enquadraram na extrema classe de *muito alta* disponibilidade hídrica para as condições resultantes da integração relevo+solos+veg/uso, graças aos elevados índices de chuva, permaneceram nessa condição.

#### **4.4.4.4 Aferição do método – comparação com vazão específica**

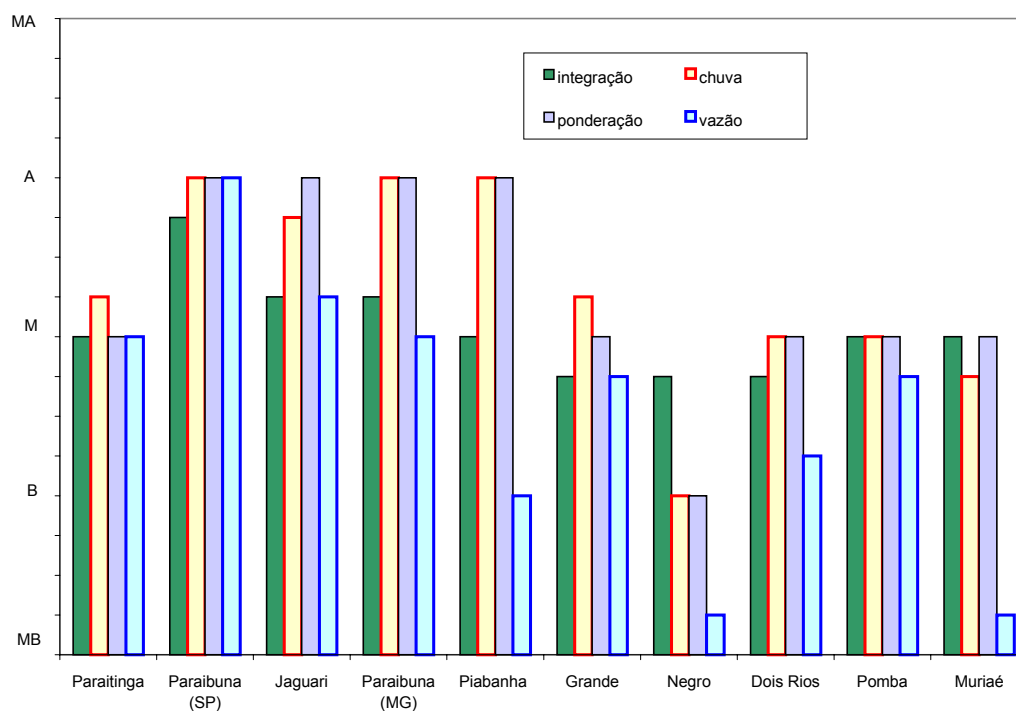
O objetivo principal da aplicação do método de análise interdisciplinar adotado neste estudo era testar até onde se pode obter respostas sobre os processos que regulam a disponibilidade hídrica na bacia do Paraíba do Sul (uma bacia de grande dimensão), utilizando-se a base de dados disponível e tendo em conta que o nível de respostas obtido definirá o nível de subsídio ao planejamento de ações voltadas para a proteção dos recursos hídricos da bacia.

A única maneira de aferir a confiabilidade do método seria comparar a avaliação das tendências de disponibilidade hídrica com as vazões registradas nos rios das sub-bacias. Como não existem estações fluviométricas em todas as sub-bacias, as séries têm períodos muito distintos e muitas estações apresentam falhas expressivas nos períodos amostrados, utilizou-se o estudo de regionalização de vazões realizado pela CPRM (2002). No entanto, assim como o método de análise interdisciplinar desta pesquisa, a regionalização é um modelo da realidade (e não a própria realidade refletida em medições regulares de vazão) e, portanto, também está sujeita a um certo grau de confiabilidade, que, por sua vez, também depende da base de dados existente.

Apesar dessas circunstâncias de aferição do método, considerou-se bastante satisfatório o resultado da comparação entre tendências de disponibilidade hídrica e vazões, que apresentou coerência para a maior parte das sub-bacias analisadas. Em alguns casos em que as tendências estavam muito discrepantes das vazões da regionalização, recorreu-se aos dados dos postos (quando havia) para a aferição. Esse procedimento não só diminuiu a discrepância, como também serviu para evidenciar inconsistências na base de dados hidrometeorológicos da bacia, em especial quanto à escassez de estações em algumas regiões, permitindo identificar claramente as principais lacunas de informação nessa base.

Considerando-se que as tendências foram avaliadas para uma condição mediana de disponibilidade hídrica (dada pelos valores de chuva média anual), as vazões Q7-10, estimadas para períodos críticos de estiagem, podem apresentar-se, em geral, um pouco abaixo da tendência avaliada. Resguardadas as limitações de uma análise qualitativa, verificou-se esse comportamento na maior parte das grandes bacias, conforme demonstra a **figura 4.10**. As discrepâncias mais acentuadas nas bacias dos rios Piabanha e Muriaé foram relacionadas, em princípio, a problemas na base de dados dos postos fluviométricos. Conforme comentado nos respectivos itens, as sub-bacias dos rios Pomba e Muriaé apresentam maior escassez de dados, o que se refletiu em maiores “desvios” na aferição do método de análise de disponibilidade hídrica com as vazões específicas.

O nível de resposta dessa análise interdisciplinar se expressa nas indicações de sub-bacias e de ações prioritárias para proteção/recuperação de recursos hídricos na bacia do rio Paraíba do Sul, apresentadas no próximo item.



**Figura 4.10 - Tendências de disponibilidade hídrica, chuva média anual e vazão específica nas grandes Sub-bacias**