



## DISPONIBILIDADE E PRODUTIVIDADE DA ÁGUA: UM DESAFIO PARA O SÉCULO 21<sup>1</sup>

Ricardo A. L. Brito  
EMBRAPA, Sete Lagoas MG

### Introdução

#### **A Terra é um Planeta de Água.**

Três quartos da Terra são formados de água. 97,5% da água na Terra consiste de águas salgadas, existentes em oceanos e mares. Cerca de 2,0 % é de água doce, confinada em latitudes polares (gêlo) ou a grandes profundidades, impossíveis de captar com as tecnologias hoje conhecidas. Apenas cerca de 0,3 a 0,5% são disponíveis para uso humano, armazenado em rios, lagos e lençóis subterrâneos. O ciclo hidrológico mundial apresenta praticamente o mesmo volume de recursos hídricos há uns 500 anos.

O Ciclo Hidrológico Mundial, em números aproximados, consiste de um volume anual de evaporação da ordem de 505.000 a 575.000 km<sup>3</sup>/ano, equivalente a 1,4 m da superfície oceânica. 90% dessa evaporação cai de volta nos mares, na forma de chuva ou neve. E a precipitação anual representa cerca de 50 vezes o estoque anual em lagos, rios e reservatórios.

Aproximadamente 50.000 km<sup>3</sup> de precipitação caem em terra seca e são absorvidos, de um total de 60.000 km<sup>3</sup> de chuva ou neve de origem local e 34.000 km<sup>3</sup> de escoamento superficial, que vão abastecer rios e alagados.

#### **Canais, Represas e Reservatórios**

Até 1900, haviam 40 reservatórios no mundo com mais de 100 milhões de metros cúbicos armazenados. Atualmente (em 2004) existem quase 3.000 reservatórios com esse volume, inundando cerca de 50 milhões de hectares e acumulando mais de 6.000 km<sup>3</sup> de água.

Nos EUA, mais de 70.000 barragens podem armazenar 50% da vazão anual de todos os rios do país. Alguns cientistas acham que tal volume armazeando pode afetar inclusive o movimento rotacional da Terra.

#### **Demandas da População**

O crescimento da demanda mundial por água de boa qualidade, a uma taxa superior à renovabilidade do ciclo hidrológico é, consensualmente, previsto nos meios técnicos e científicos internacionais. Este crescimento tende a tornar maior a pressão sobre os recursos naturais do planeta neste século. Além disso, a qualidade dos mananciais vem decrescendo rapidamente pela ação antrópica.

Com a migração da população do campo para a cidade e a industrialização, além de exercerem significativa demanda pelas águas dos mananciais, também exigiram o crescimento do parque gerador de energia elétrica, que por sua vez, implicou na necessidade de aproveitamentos hidrelétricos. Adicionalmente, houve a necessidade de aumentar a produção

<sup>1</sup> Palestra apresentada no I Simposio de Pesquisa em Ciências Agrárias no Semi-Árido Mineiro, Janaúba MG, 22 a 24 de agosto de 2007.



de alimentos, o que veio encontrar na agricultura irrigada o canal apropriado para satisfazer a essa demanda.

Em 1850, a população mundial situava-se ao redor de um bilhão de habitantes. No ano 2000, esse número atingiu 6 bilhões, e a projeção para 2050 alcança entre 9 e 10 bilhões.

Entre 1950 e 1990, a demanda pela água triplicou. E as projeções para 2025 prevêem o dobro da demanda atual (início do século 21).

O uso dos recursos hídricos atualmente é estimado, no âmbito mundial, em 70% do volume captado de mananciais para a agricultura irrigada, 23% para a indústria e 7% para uso doméstico. No Brasil, essas estimativas são de 61% para a agricultura irrigada, 18% para a indústria e 21% para uso doméstico.

Os usos industrial e municipal, têm ainda implicações importantes quanto ao tratamento da qualidade da água e requerem dois tipos de tratamento a serem feitos. O primeiro, um processamento prévio, para ajustar a água aos seus padrões de uso; e o segundo, um tratamento posterior de efluentes, para reduzir ou eliminar a presença de poluentes ou contaminantes. Dependendo da finalidade de uso da água, os parâmetros analisados variam dentro de um amplo espectro (pH, sais, microrganismos, coliformes, Na, Ca, NO<sub>3</sub>, N total, metais pesados, agroquímicos etc.).

A agricultura, como uma grande usuária dos recursos hídricos, vem sendo apontada como uma das principais causas do trato irracional dessa questão. Contudo, embora possa ser fonte de alguns problemas, a agricultura pode ser parte da solução desses. O manejo adequado da água na agricultura não pode ser considerado uma etapa independente dentro do processo de produção agrícola, devendo ser analisado dentro de um enfoque sistêmico. Dentro desse enfoque, a utilização da bacia hidrográfica como unidade de planejamento para ações integradas, a adoção de estratégias de conservação de solo e água, captação das águas das chuvas, como as bacias de contenção de águas de enxurradas, conhecidas como "barraginhas", a utilização de sistemas de manejo que aumentem a infiltração e retenção da água, como o plantio direto, o controle biológico, controle integrado de pragas e doenças e outros, aparecem como alternativas de grande potencial para a solução dessa problemática. A questão é que, dentro de seu sistema de produção, o agricultor pode considerar a água como um de seus produtos, e seu manejo adequado não pode ser considerado uma etapa independente dentro do processo de produção agrícola, devendo ser analisado dentro do contexto de um sistema integrado.

### **Água na Produção de Alimentos**

A alimentação humana e animal têm sua origem na agropecuária e as expectativas mundiais apontam para uma necessidade crescente de produção de alimentos, com uma projeção de duplicação dessa demanda até o ano 2025, no âmbito internacional. Isso implica na possível ampliação da área agrícola e/ou no aumento da sua eficiência na produção de alimentos, o que significa um aumento na demanda de água para uso agrícola e/ou um aumento na eficiência agrícola de uso de água.

Em 1996, a FAO (Organização para Alimentação e Agricultura, das Nações Unidas) estimava a existência de 850 milhões de famintos no mundo, equivalente a 14,5% da população global. Com o crescimento da população mundial à taxa média de 1,7% ao ano e o crescimento da



produção de cereais à taxa de 1,0% ao ano, essa projeção cresceu para 2,5 bilhões de habitantes em 2025, o que talvez venha a representar mais de 30% da população global.

#### **Recursos Hídricos no Brasil**

O Brasil possui o maior potencial de recursos hídricos entre os países (cerca de 11% do volume mundial), estimado em 5.330 km<sup>3</sup>/ano, representando uma média "per capita" nacional de aproximadamente 32.000 m<sup>3</sup>. Ocorre que 90% desse volume total encontra-se nas regiões Norte e Centro-Oeste, onde estão apenas cerca de 15% da população nacional, enquanto os outros 10% do volume disponível estão nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste, onde residem os outros 85% dos habitantes. Se a média de disponibilidade for regionalizada, obtém-se 4.800 m<sup>3</sup>/hab para o Sudeste e 4.000 m<sup>3</sup>/hab para o Nordeste.

Com base nessas estimativas, não é surpreendente que já existam conflitos de água nos vales do rio Guaiara (SP), Verde Grande (MG), Paraíba do Sul (SP, RJ, MG), Bom Jardim (GO) e pequenas bacias no semi-árido (Nordeste e Sudeste).

#### **Potencial/Disponibilidade de Água**

Com base em estudos/avaliações das Nações Unidas (Falkenmark & Widstrand, 1992) considera-se que um país tem disponibilidade adequada de recursos hídricos quando apresenta um volume "per capita" médio igual ou superior a 1.700 m<sup>3</sup>/hab. Abaixo dessa marca, a situação já pode ser considerada inadequada, ou com tendência a escassez. Se essa média atingir valores da ordem de 1.000 m<sup>3</sup>/hab (ou inferior), a condição é considerada "crítica".

Dados de 1996 (Lanna, 1999) mostram seis estados brasileiros (RN, PB, PE, AL, SE, DF) com disponibilidade abaixo de 1.700 m<sup>3</sup> por habitante, oscilando entre 1.270 e 1670 m<sup>3</sup>/hab (média de 1.470 m<sup>3</sup>/hab), portanto tendendo ao nível "crítico. Vale mencionar que os Estados do Ceará e Rio de Janeiro estão hoje no limite – ou pouco abaixo – dos 1.700 m<sup>3</sup>/hab. Consequentemente, qualquer projeção de uso da água, principalmente nesses estados, deverá estar associada a um manejo/gestão de alta eficiência.

Se imaginarmos uma taxa de crescimento populacional de 1,3% a.a., entre 1996 e 2025 – portanto daqui a menos de 20 anos - a população nesses seis estados mencionados (RN, PE, PB, AL, SE, DF) crescerá 45%, para uma mesma disponibilidade (fixa) de recursos hídricos. Em 2025, portanto, a disponibilidade hídrica média alcançaria o nível crítico de 1.000 m<sup>3</sup>/hab.

Em tempo: o volume total anual captado para uso na irrigação no Brasil é estimado em 33 bilhões de metro cúbicos, para irrigar uma área total de aproximadamente 3 milhões de ha.

#### **Produtividade da Água**

A produtividade da água é um conceito relativamente recente, que busca quantificar o retorno unitário obtido de cada unidade de volume de água utilizado na produção de determinado produto. No campo da produção agrícola, esse parâmetro tem sido originalmente representado em termos de kg/m<sup>3</sup>, relacionado portanto à "eficiência" com que determinada cultura utiliza a água para transformar em seu produto final.

Vale mencionar que a produtividade agrícola da água pode ser relacionada com dois aspectos básicos: (i) a capacidade fisiológica/genética da planta em usar a água no seu processo



produtivo (adaptação, tolerância, resistência etc); (ii) a eficiência do sistema de cultivo/produção (manejo) adotado.

Segundo Cai & Rosegrant (2003), com dados 1995, os seguintes valores médios de produtividade da água para cereais (trigo, milho, soja, outros grãos, exceto arroz) são apresentados para diferentes regiões do mundo:

- menos de 0,4 kg/m<sup>3</sup> no Sul e Centro da Ásia, Norte e Centro da África sub-saariana;
- 1,0 a 1,7 kg/m<sup>3</sup> na China, EUA e Brasil;
- 1,7 a 2,4 kg/m<sup>3</sup> na Europa Ocidental.

Considerando-se que a produtividade, em termos de kg/m<sup>3</sup>, apresenta significado econômico dúbio, quando se refere a diferentes culturas, uma alternativa tem sido adotada de se quantificar essa produtividade em termos de US\$/m<sup>3</sup>, ou R\$/m<sup>3</sup>, propiciando assim uma interpretação econômica mais "universal".

Exemplos de valores de "produtividade" da água para outras finalidades (Branco, 1999, dados de 1995):

- alimento em conserva: 7 a 35 m<sup>3</sup> por tonelada de água usada;
- cerveja: 10 a 20 m<sup>3</sup>/L
- refinaria de petróleo: 18 L por L de óleo cru;
- cimento: 2 – 3 m<sup>3</sup>/t;
- laticínio: 2 – 7 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> de produto;
- celulose: 200 – 550 m<sup>3</sup>/t;
- fertilizante: 270 m<sup>3</sup>/t.

### **Produtividade da Água em Termos Energéticos**

A despeito da preocupação, relativamente consolidada, com o uso múltiplo dos recursos hídricos (agricultura, indústria, doméstico, lazer, ambiente etc), o conceito sobre o uso da água na produção da agro/bio-energia pode ser considerado um novo paradigma. Trata-se de um tema dificilmente encontrado, mesmo na literatura especializada, caracterizando-se portanto como uma área de prospecção temática.

Fazendo-se uma analogia com a produtividade agrícola da água, uma primeira abordagem que se apresenta seria um cálculo em duas etapas: (i) o cálculo/estimativa da capacidade de conversão de produto agrícola (p. ex., grão) em agro/bio energia/combustível (p. ex., em termos de calorias/kg); (ii) a transformação do parâmetro de produtividade da água – em kg/m<sup>3</sup> - para energia, em calorias/m<sup>3</sup>. Se 1,0 kg de grão pode produzir X cal de energia e a produtividade da água para esse grão é de 0,8 kg/m<sup>3</sup>, então a produtividade energética da água, para o mesmo grão, será de 0,8X cal/m<sup>3</sup>.

### **Demandas de Intervenção**

O cenário existente aponta para uma necessidade de enfocar a água como insumo estratégico e recurso natural limitado (Figura 1). Do ponto de vista de insumo estratégico, a ênfase maior deve ser colocada no seu uso e portanto requer-se uma racionalização desse uso para evitar perdas em quantidade (desperdício) e qualidade (contaminação). Do ponto de vista do recurso natural limitado, o foco deverá ser centrado na produção e preservação de água de boa qualidade.



## ÁGUA : INSUMO ESTRATÉGICO E RECURSO NATURAL FINITO

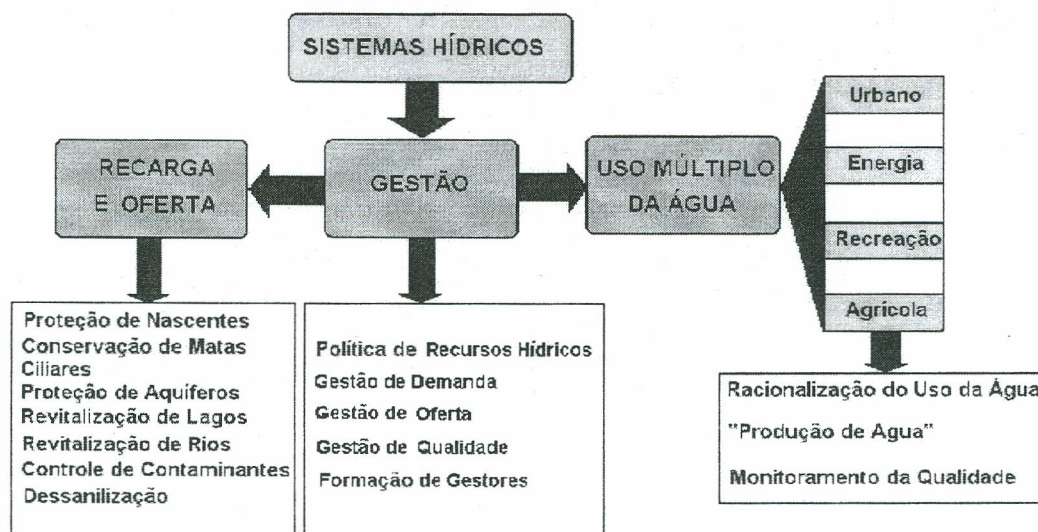


Figura 1. Diagrama ilustrativo da água como insumo estratégico e recurso natural limitado.

O aspecto da gestão de recursos hídricos merece especial atenção na busca de soluções para o cenário descrito. Para alcançar tal objetivo, a gestão dos recursos deverá estar apropriadamente focada nas prioridades identificadas. Os focos deverão tratar de (i) gestão da demanda (racionalização do uso), (ii) gestão da oferta ("produção de água") e (iii) gestão da qualidade.

Dentro desse enfoque, um conjunto de linhas de ação são apresentados, assim distribuídos:

### 1. Quanto à Racionalização do Uso

Do ponto de vista da racionalização do uso, a elevação na eficiência do uso de água para a agricultura constitui um desafio complexo, uma vez que abrange diferentes estratégias, em diferentes linhas de ação e escalas de atuação, a saber:

1.1. Melhor aproveitamento da água de chuva através de harmonização entre potencialidades ambientais (solo e água) de regiões, com as características genéticas e fisiológicas das culturas, na forma de um zoneamento agroecológico com ênfase para as relações solo-água-planta-ambiente, em escala regional.

#### Linhas de pesquisa:

1.1.1. "Aplicação de técnicas quantitativas digitais para otimizar o mapeamento de solos para fins de planejamento e gestão ambiental".

1.2. Desenvolvimento e/ou adaptação de tecnologia de manejo e racionalização no uso da água e outros insumos para agricultura irrigada, em escala parcelar ou de propriedade, com objetivo de aumentar o retorno (físico e econômico) da produção, por unidade de água utilizada, dentro de um contexto sustentável.



**Linhas de pesquisa:**

1.2.1. "Desenvolvimento de metodologias, modelos e interfaces para calibrar, corrigir, prever e disponibilizar a evapotranspiração de referência via rede, visando racionalizar o uso da água na agricultura".

1.2.2. "Desenvolvimento de tecnologias para racionalização do uso da água de irrigação em fruteiras e hortaliças nas regiões semi-áridas e dos cerrados".

1.2.3. "Determinação da evapotranspiração de culturas em sistemas irrigados nos biomas Cerrado e Semi-Árido".

1.2.4. "Determinação de coeficientes técnicos para a produtividade da água em termos de agro/bio energia (p. ex., cal/m<sup>3</sup>) e sua análise comparativa com relação a outros usos.

1.3. Desenvolvimento e/ou adaptação de culturas (cultivares) aos estresses ambientais, com ênfase nos estresses hídricos, por falta ou excesso de água.

1.4. Desenvolvimento metodológico para monitoramento e avaliação de desempenho agro-hidrológico, envolvendo o desempenho global de áreas irrigadas e da qualidade da água nessas áreas.

**Linhas de pesquisa:**

1.4.1. "Avaliação da sustentabilidade do uso das terras dos perímetros irrigados e desenvolvimento do sistema brasileiro de classificação de terras para irrigação".

1.4.2. "Valoração econômica ambiental no manejo do solo e da água em perímetros irrigados".

1.4.3. "Indicadores de desempenho de perímetros irrigados".

1.4.4. "Manejo e conservação do solo e água como instrumento sustentável de uso dos recursos hídricos da bacia do rio São Francisco".

1.5. Instrumentação, automação e desenvolvimento de processos de tomada de decisão para monitoramento e avaliação de sistemas agrícola irrigados (instrumentos de controle, sensoriamento remoto, sistemas de informação geográfica etc). Vale salientar que, na medida em que os agricultores disponham de técnicas e instrumentos para monitorar o uso da água, mais viável se torna, na prática, a racionalização do seu uso agrícola.

**2. Quanto à Produção de Água**

Do ponto de vista da produção de água de boa qualidade, algumas estratégias e tecnologias diferenciadas são necessárias, mais uma vez enfocando tanto a dimensão da propriedade rural, quanto a micro-bacia e a região. As ações de pesquisa e transferência de tecnologia a serem desenvolvidas devem adotar dois enfoques principais: as medidas a serem tomadas em nível de propriedade e suas conseqüência no âmbito das micro-bacias e bacias hidrográficas. Dentre as linhas de trabalho recomendadas, destacam-se as seguintes.



2.1. Desenvolvimento e/ou adaptação de técnicas de contenção do escoamento superficial das águas de chuva para recarga do lençol freático.

2.2. Identificação e análise de zonas preferenciais de recarga de aquíferos, com vistas à conservação da quantidade da água e à sustentação e/ou incremento da infiltração nas zonas de recarga.

**Linhas de pesquisa:**

2.2.1. "Caracterização, monitoramento e plano de gestão de aquíferos do semi-árido".

2.3. O aprimoramento de técnicas de captação "in situ", na região semi-árida, promovem a estabilização da produção e produtividade agrícolas nas pequenas propriedades, pelo emprego de estratégias de "colheita de água" (cultivo em faixas alternadas, barragens subterrâneas, entre outras). Como efeito secundário, obtém-se também uma recuperação da vegetação natural, em escala pontual e da micro-bacia.

**Linhas de pesquisa:**

2.3.1. "Alternativas de captação, conservação e manejo de água para uso humano e agropecuário".

2.3.2. "Monitoramento e quantificação de resultados de técnicas de captação e conservação de água na bacia do São Francisco".

2.4. A reutilização de águas residuais, incluindo o uso de processos de dessalinização de águas salobras, no semi-árido, em pequenas propriedades rurais, se por um lado alivia a escassez de água para o consumo humano e animal, por outro lado apresenta o desafio quanto ao manejo do rejeito salino. Experimentos iniciados pela EMBRAPA no semi-árido estudam diferentes formas de aproveitamento do rejeito salino (produção artesanal de sais, piscicultura, produção de pastagens), com resultados preliminares promissores.

**Linhas de pesquisa:**

2.4.1. "Reúso de efluentes urbanos e agroindustriais na agricultura".

2.4.2. "Desenvolvimento de indicadores para avaliação do índice de risco e poluição hídrica de áreas adubadas com dejetos suínos visando seu uso sustentável como biofertilizante".

2.4.3. "Produção de água potável pelo processo de dessalinização via osmose reversa no semi-árido nordestino".

2.4.4. "Desenvolvimento de sistemas de tratamento e valorização de dejetos suínos para uso agrícola".

2.4.5. "Manejo de efluentes e reúso da água de sistemas intensivos de produção bovina e sua utilização na agricultura".



2.5. As técnicas de plantio direto, com incorporação da palhada após as colheitas, possibilitam a formação de camada protetora ("mulch"), que reduz as perdas de água por evaporação e promove melhor armazenamento na zona radicular. Além disso, a estratégia de "cultivo mínimo" evita compactação dos solos e diminui as doses necessárias de aplicação de agroquímicos.

**Linhas de pesquisa:**

2.5.1. "Utilização racional da irrigação para a sustentabilidade dos sistemas de produção em regiões semi-áridas".

2.6 Desenvolver e adaptar metodologias e modelos para monitoramento e avaliação dos impactos da atividade agrícola na produção e qualidade de água, como instrumento de planejamento e controle ambiental.

**Linhas de pesquisa:**

2.6.1. "Diagnóstico de fatores bióticos e abióticos em bacias hidrográficas para uso racional da água pela atividade agropecuária".

2.6.2. "Tecnologias para biorremediação de solos contaminados com agroquímicos".

2.6.3. "A atividade agrícola e seus efeitos sobre os recursos hídricos da região dos cerrados".

2.6.4. "Impacto das mudanças climáticas globais no zoneamento do Brasil".

2.6.5. "Lodo de esgoto: impacto ambiental em solos agrícolas e em áreas degradadas".

2.7. Manejo integrado de recursos naturais em nível de bacia hidrográfica, buscando adequar a intervenção antrópica às características biofísicas dessas unidades naturais (ordenamento do uso/ocupação da paisagem, observada as aptidões de cada segmento e sua distribuição espacial na respectiva bacia hidrográfica), sob gestão integrativa e participativa, de forma que minimizem impactos negativos e garanta o desenvolvimento sustentado.

**Linhas de pesquisa:**

2.7.1. "Gestão de recursos hídricos: monitoramento do uso da terra, da água e da geração de sedimentos".

2.7.2. "Modelagem integrada para o uso sustentável dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos no cerrado".

2.7.3. "Monitoramento de indicadores de qualidade de água e da dissipação da energia erosiva incidente em microbacias hidrográficas colonizadas por pequenas unidades produtivas".

2.7.4. "Agricultura e produção de água: modelos alternativos de ordenamento do uso da terra em microbacias visando a otimização da produção hidro-agrícola na bacia do rio São Francisco".





2.7.5. "Manejo e conservação do solo e da água em sistemas agrossilvopastoris das bacias hidrográficas do cerrado".

2.7.6. "Recuperação de ambientes florestais ribeirinhos do bioma cerrado e sua importância na conservação da água".

### **3. Quanto a Qualidade da Água**

Um programa enfocando água na agricultura deve ter a qualidade da água como um dos seus focos principais. A água, do ponto de vista das atividades agrícolas ou rurais, precisa ser vista em dois momentos, ou em duas posições: à montante e à jusante.

A água à montante é aquela que será usada na agricultura ou na atividade rural e portanto constitui seu insumo maior. A agricultura, enquanto principal usuária, enfatiza a qualidade tendo em vista a adequabilidade do insumo para sua produção. Dentro desse enfoque, as exigências estão voltadas para questões relacionadas a parâmetros como pH, dureza, salinidade, presença de elementos ou organismos nocivos à produção agrícola e/ou pecuária e à saúde da população rural.

Outra característica peculiar à água de montante é o volume a ser usado, que, no caso da maior usuária, trata-se de grandes volumes.

A água à jusante é a água que já foi utilizada no processo de produção agropecuária, conhecida como o fluxo de retorno, que é a parcela que percola através da zona radicular e aquela que é perdida por escoamento superficial. No caso da agricultura irrigada, onde se utilizem sistemas de aspersão, há ainda uma pequena fração que se perde por deriva (vento). Como a maior parte do volume usado é evapotranspirado pelas plantas e retorna à atmosfera, o volume do fluxo de retorno geralmente é muito menor que o volume que foi derivado à montante.

Aqui há dois enfoques importantes: (i) a racionalização do uso do insumo, para evitar perdas controláveis e (ii) a preservação da qualidade do fluxo de retorno enquanto recurso natural, que irá retornar ao sistema hídrico, para os lençóis freáticos e/ou os mananciais à jusante. Os parâmetros envolvidos nessa fase estão relacionados aos possíveis usos por usuários posteriores, que podem ser uso também agrícola ou não. Portanto, o conceito de qualidade será diferenciado, tanto em termos de parâmetros químicos, físicos e biológicos, quanto em termos de concentração dos mesmos.

#### **Linhas de pesquisa:**

3.1.1. "Pesquisa e desenvolvimento como subsídio à formulação e operacionalização de políticas de recursos hídricos de qualidade de água para as áreas agropecuárias nas bacias hidrográficas dos rios São Francisco e Parnaíba".

### **4. Outras Demandas**

Algumas demandas de pesquisa têm caráter mais geral e abrangente, que permeia todas as linhas, não se enquadrando especificamente em qualquer delas acima. Entre essas, incluem-se bases de dados, caracterizações climáticas e eventos extremos.



**Linhas de pesquisa:**

4.1.1. "Estudo do impacto de eventos extremos sobre a produção agropecuária e estratégias de resposta".

**Literatura Citada**

CAI, X.; M. W ROSEGRANT. World water productivity: current situation and future options. **In:** Water Productivity in Agriculture: limits and opportunities for improvement (Ch. 10). CABI Publishing, Wallingford, 2003, 163-178.

BRANCO, S. M. Água, meio ambiente e saúde. **In:** Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação (cap. 07). Instituto de Estudos Avançados, USP, São Paulo, 1999, 227-249.

LANNA, A. E. L. Hidroeconomia. **In:** Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação (cap. 16). Instituto de Estudos Avançados, USP, São Paulo, 1999, 533-563.