



cgée



CTHidro

Secretaria Técnica do Fundo Setorial
de Recursos Hídricos

As necessidades de observação e monitoramento dos ambientes brasileiros quanto aos recursos hídricos

Robin T. Clarke
Paulo L. da Silva Dias

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação

POSITION PAPER:

**AS NECESSIDADES DE OBSERVAÇÃO
E MONITORAMENTO DOS AMBIENTES
BRASILEIROS QUANTO AOS RECURSOS
HÍDRICOS**

**ROBIN T. CLARKE
IPH/UFRGS**

**PEDRO L. da SILVA DIAS
IAG/USP**

13 de NOVEMBRO de 2002.

SUMÁRIO

1. OBJETIVOS E ESTRUTURA DO *POSITION PAPER*.
2. O ESTADO ATUAL DOS SISTEMAS DE OBSERVAÇÃO E MONITORAMENTO ORIENTADOS AO CADASTRO DOS RECURSOS HÍDRICOS BRASILEIROS.
 - 2.1 Medição e observação da precipitação.
 - 2.2 Medição e observação da evaporação.
 - 2.3 Medição e observação da vazão em rios.
 - 2.4 Medição e monitoramento de água subterrânea.
 - 2.5 Medição e monitoramento do sedimento transportado em rios.
 - 2.6 Observação e monitoramento da qualidade da água em rios.
 - 2.7 Conclusões.
3. O USO DE DADOS NA MODELAGEM HIDROLÓGICA DE RECURSOS HÍDRICOS E ESTUDOS AMBIENTAIS.
 - 3.1. Modelos Hidrológicos utilizados para previsão operacional.
 - 3.2. Modelos Hidrológicos Distribuídos.
 - 3.3. Modelos de previsão atmosférica.
 - 3.4. Uso combinado de Modelos Hidrológicos com Modelos Climáticos em pesquisa.
 - 3.5. Uso de modelos hidrológicos distribuídos no planejamento urbano.
 - 3.6. A regionalização de dados hidrológicos.
 - 3.7. A estimativa da frequência de ocorrência no futuro de eventos importantes para a gestão de recursos hídricos.
4. AS NECESSIDADES PARA ESTRUTURAS DE OBSERVAÇÃO E MONITORAMENTO FUTURO.
 - 4.1 Atividades necessárias para melhorar as estruturas já existentes.
 - 4.2 Avaliação dos efeitos de mudanças climáticas nos recursos hídricos brasileiros.
 - 4.3 Avaliação dos efeitos do crescimento urbano no regime de precipitação.
 - 4.4 Avaliação dos efeitos da mudança do uso do solo no regime de precipitação
 - 4.5 Estudos de longo prazo em bacias protegidas para conhecer melhor os fatores que influenciam a composição físico-química da água nos sistemas hídricos brasileiros, e a sua estrutura biológica.
 - 4.6 Integração com trabalhos já em andamento.
5. RECOMENDAÇÕES PRIORIZADAS.
6. REFERÊNCIAS

1. OBJETIVOS E ESTRUTURA DO *POSITION PAPER*.

O objetivo deste *Position Paper* é de contribuir para discussões sobre as necessidades de observação e monitoramento dos ambientes brasileiros, quanto aos recursos hídricos, através de uma análise da capacidade existente e com sugestões de uma proposta de investimento de curto e longo prazo a nível de pesquisa e desenvolvimento. A estrutura do trabalho é dividida em quatro partes:

- (a) Um levantamento das observações atualmente disponíveis e do monitoramento agora efetuado na gerência dos recursos hídricos brasileiros, das limitações nos sistemas de monitoramento e na disponibilidade dos dados que permitem avaliação das características dos recursos hídricos;
- (b) Um levantamento dos usos para os quais os dados hidrológicos e meteorológicos são empregados, e dos extensões possíveis;
- (c) Definição de estruturas de observação e monitoramento necessárias, e quais áreas de conhecimento devem ser mais desenvolvidas, para preparar o país para possíveis cenários de mudanças ambientais que possam ocorrer no futuro, e que possam influenciar a distribuição e disponibilidade dos recursos hídricos.
- (d) Uma lista das prioridades necessárias para ampliar o conhecimento das quantidades e a qualidade dos recursos hídricos.

A análise da estrutura observacional existente foi baseada no conhecimento que os autores têm do sistema observacional hidrometeorológico no Brasil, das instituições de pesquisa e ensino e algumas visitas a instituições que mantêm redes de observação hidrometeorológicas ou que sejam usuárias de informações e análise de material publicado sobre o tema no Brasil. Em particular, foram visitadas a Agência Nacional das Águas (ANA), a Operadora Nacional do Sistema (ONS), a ANEEL, o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Também foram consultados o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do INPE (CPTEC), a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA quanto as necessidades futuras de monitoramento hidrometeorológico para atendimento da demanda de informações sobre recursos hídricos além dos diversos programas estaduais de Programa de Monitoramento de Tempo, Clima e Recursos Hídricos - PMTCRH que resulta do esforço conjunto do Governo Federal, através do Ministério da Ciência e Tecnologia dos Governos Estaduais e dos Países da América do Sul para aprimoramento dos serviços hidrometeorológicos.

2. O ESTADO ATUAL DOS SISTEMAS DE OBSERVAÇÃO E MONITORAMENTO ORIENTADOS AO CADASTRO DOS RECURSOS HÍDRICOS BRASILEIROS.

É preciso considerar separadamente os recursos de água superficial, na forma dos rios, lagos, reservatórios e várzeas, e os recursos de água subterrânea. Tanto os recursos hídricos superficiais como subterrâneos são conseqüências dos processos atmosféricos de precipitação e evaporação, que necessitam redes instrumentais para o monitoramento destes processos. É necessário também mencionar aspectos relacionados não somente às redes instrumentais e a qualidade das observações, mas também as estruturas administrativas que têm responsabilidade pela acurácia, controle de qualidade e divulgação dos dados.

2.1. Medição e observação da precipitação.

A Agência Nacional de Águas (ANA) publica informações compreensíveis da rede instrumental para a observação de precipitação. Atualmente a rede básica é composta por 2.448 estações, mas a distribuição espacial é muito variável. Adicionalmente, existem mais 5.789 estações operadas por outras entidades. A distribuição é mais densa nos Estados altamente urbanizados (São Paulo: uma estação por 169 km²; Distrito Federal, uma por 166 km²; Paraná: 214 km²;...). Em contraste, o Amazonas tem uma estação por 7.829 km², Pará uma por 5.528 km², e Mato Grosso uma por 4.637 km². As durações dos períodos de observação também são variáveis. De importância especial são as estações que têm longos registros, porque estes devem ser utilizados para a detecção de tendências nos regimes de precipitação, talvez em conseqüência de mudanças climáticas ou da variabilidade climática natural de longo prazo.

A ANA identificou 163 estações com registros de mais de 40 anos que poderiam ser utilizados para estudar tendências nos regimes da precipitação no país; por causa de problemas administrativos, estes dados essenciais ainda não estão disponíveis para pesquisa. Um dos problemas com a validação destas séries longas é que não existem informações precisas sobre mudanças na exposição dos instrumentos, causadas por construção de prédios ou crescimento de vegetação. Portanto, é difícil distinguir efeitos climáticos dos efeitos impostos pelas mudanças locais. Algumas séries bastante longas (mais de 100 anos) de precipitação estão disponíveis no Nordeste (em particular em Fortaleza e Quixeramobim no Ceará) e que deram origem a vários trabalhos científicos sobre o regime de chuvas do NE (Nobre e Shukla 1996; Xavier et al. 2000), Campinas/SP (Cavalli, Guillaomon e Serra Filho 1975) e São Paulo/SP (Xavier et al 1992, 1994) também têm series centenárias de precipitação, entretanto nem sempre exatamente no mesmo local.

A grande maioria das estações na rede básica de monitoramento de precipitação observam apenas os totais diários. Observações da intensidade da precipitação também são importantes para o planejamento de redes de drenagem

urbana e para estudos da erosividade em áreas agrícolas. Conforme as informações da ANA, existem 1.612 estações com dados sobre a intensidade da precipitação mas os dados nem sempre são divulgados para uso geral. Muitos dos dados foram obtidos a partir de pluviográficos que registraram as observações em fita de papel, e relativamente poucas destas fitas foram processadas na forma digital que permite análise e interpretação por computador. A análise destes dados é importante por vários motivos, especialmente no contexto urbano: é necessário estabelecer as relações entre as durações de precipitações intensas, e as suas freqüências de ocorrência, para facilitar o planejamento de sistemas de drenagem. Os dados pluviográficos também são necessários para determinar se a expansão em áreas urbanizadas influencia o regime da precipitação.

Além de dados pluviográficos, existem radares meteorológicos no Brasil que podem fornecer informações sobre a intensidade da precipitação e distribuição espacial. Existem 4 radares em operação no Estado de São Paulo. A UNESP/Bauru opera dois radares de banda S (10cm), Doppler (mede o vento radial) em Bauru e Presidente Prudente (dados disponíveis no www.ipmet.unesp.br). O DAEE opera um radar banda S simples em Ponte Nova que monitora a bacia urbana de São Paulo (<http://www.publico.saisp.br/geral/radar1.htm>) e um radar de apoio à navegação aérea em São Roque (também banda S), não disponível para o público em geral. Há também um radar operado pela UNIVAP em São José dos Campos (<http://www.labmet.univap.br/>). O Sistema Meteorológico do Paraná/SIMEPAR opera um moderno radar banda S perto de Curitiba (www.simepar.br). O Instituto de Pesquisas Meteorológicas da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) mantém um radar banda S em operação (www.ufpel.tche.br) a Fundação Cearense de Meteorologia opera de forma não regular um radar banda X (3 cm) para monitoramento de nuvens em Fortaleza. O sistema de proteção ao tráfego aéreo está em processo de renovação de sua rede de radares. No caso da região amazônica, o SIPAM (Sistema de Proteção da Amazônia - www.sipam.gov.br) está em processo de instalação de vários radares (Belém, Manaus, Porto Velho, Boa Vista, Tabatinga, São Gabriel da Cachoeira, além dos radares já em operação em Porto Alegre, Petrópolis e Brasília. Os radares operados por instituições de ensino ou pesquisa mantém um banco de dados digital. Entretanto, os radares operacionais para controle de tráfego aéreo não estão dotados de um sistema de armazenamento contínuo que possa ser usado de forma digital. A calibração operacional desses radares também é problemática pois existe a manutenção de uma rede pluviométrica de superfície de alta densidade, o que em geral somente é feito por períodos curtos em função dos custos. O monitoramento da precipitação via satélite está disponível em tempo real em várias instituições americanas (por exemplo, <ftp://140.90.195.110/pub/arad/ht/gilberto/BSL/>) e no CPTEC (www.cptec.inpe.br). Entretanto, esses tipo de dado subestima a precipitação produzida por nuvens estratiformes (baixas) que representam significativa porcentagem das chuvas observadas em algumas regiões, como as tipicamente observadas no litoral do Nordeste. Resultados recentes, provenientes do programa LBA - Large Scale Biosphere Atmosphere Interaction in the Amazon (Nobre et al. 1996 e disponível no site <http://lba.cptec.inpe.br/lba/>) indicam que em

certos períodos mais chuvosos durante o verão, até 50% do total pluviométrico é proveniente de nuvens estratiformes cuja precipitação é subestimada pelos satélites passivos (i.e., aqueles que estimam a chuva pela radiação de onda eletromagnética emitida por nuvens). Grande expectativa existe com relação ao uso de radares (i.e., sensoriamento remoto ativo) à bordo de satélites, como no caso do programa “Tropical Rainfall Measurement Mission - TRMM ” da NASA/EUA em cooperação com a National Space Development Agency of Japan (www.eorc.nasda.go.jp/TRMM/index_e.htm). O TRMM produz estimativas de precipitação via satélite 2 vezes ao dia em cada local que podem ser usadas para calibração dos métodos passivos baseados no monitoramento de satélite de órbita polar. Entretanto, tanto os sensores ativos como os passivos também requerem redes terrestres para calibração, de alta resolução e com dados disponíveis com alta frequência temporal e em tempo real, o que coloca restrições operacionais significativas. Os dados pluviométricos via satélite apresentam algumas restrições significativas com relação à resolução espacial e temporal. Em geral, a precisão desses métodos é maior para grandes áreas (da ordem de 100 x 100 km) e escalas de tempo mais longas (pelo menos 3 horas e melhor ainda no que se refere às estimativas das acumulações mensais).

Uma outra restrição muito importante no uso das estimativas de precipitação via satélite reside na frequência temporal das informações. O satélite com melhor ângulo de visão da precipitação no Brasil é o GOES-8 operado pela NOAA. O satélite europeu da série METEOSAT observa apenas a parte leste do Brasil e o Atlântico. O GOES-8 fornecia informações em intervalos de aproximadamente 30 min até dois anos atrás, na maior parte do Brasil. Entretanto, em 2000 a NOAA alterou a prática de operação e agora só garante a informação ao sul do equador a cada 3 horas. O aumento do intervalo entre observações ocorre quando há alguma tempestade ou evento meteorológico adverso no continente americano. Entretanto, para que as estimativas de precipitação (e de vento) por satélite seja precisa, é necessário ter informações o mais frequente possível e portanto inviabiliza-se o uso desse satélite para estimativa da precipitação no continente sul-americano em várias ocasiões. Apesar de o Brasil estar desenvolvendo um ativo programa espacial, com a construção de sensores de umidade e satélites de comunicação que têm aplicação meteorológica, é fundamental que a política de desenvolvimento espacial no Brasil contemple a possibilidade de dotar o país de um satélite geoestacionário com capacidade de observação frequente (da ordem de 15-30min) sobre o território nacional.

A campanha de observações do programa LBA, realizada em Rondônia em Janeiro/Fevereiro de 1999 com radares meteorológicos de última geração, revelou algumas características inéditas da precipitação na região amazônica, com relação à partição entre a chuva de origem convectiva, localmente intensa, e a chuva de origem estratiforme ou de nuvens do tipo convectiva mas muito rasa (e portanto sem gelo). As nuvens amazônicas nos períodos caracterizados pela chuva leve e contínua apresentavam características marinhas porém sem os núcleos de condensação típicos da região oceânica i.e., ricos em sal. Na realidade, constatou-se que as emissões biogênicas (terpenos e isoprenos) eram

responsáveis pelas características físicas das nuvens observadas na Amazônia oeste no período úmido (Silva Dias et al. 2002a). Com a presença de aerossóis cuja origem é a poeira do solo ou então de queimadas, as nuvens tendem a apresentar um caráter mais convectivo e com intensa formação de gelo, o que leva a ocorrência de células muito profundas com chuvas intensas. Uma campanha de observações da estrutura das nuvens no período de transição entre a estação seca e úmida foi conduzida recentemente em Rondônia e foi possível verificar a hipótese de que o material particulado produzido pelas queimadas consiste em eficientes núcleos de congelamento. As nuvens carregadas de aerossóis provenientes de queimadas tendem a produzir gelo ainda com baixa altitude, e com bastante intensidade de descargas elétricas. Portanto, uma conclusão do LBA é que a natureza da precipitação tropical é significativamente afetada pelo tipo de aerossol. Uma consequência desse resultado é que mudanças no uso do solo podem levar a alterações significativas da forma como a chuva ocorre (i.e., baixa intensidade, longo tempo ou de curta duração e alta intensidade). Resultados semelhantes também são atribuídos à influência da poluição urbana na natureza da precipitação.

É importante mencionar a existência de estimativas de precipitação, em tempo real, em agências americanas com acesso público. Essas estimativas de precipitação são baseadas na manipulação de dados da rede pluviométrica disponível em tempo real (p. ex. na página da ANA - www.aneel.gov.br) e estimativas via satélite. Um desses produtos, com resolução de 100x 100km está disponível na página www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/clickmap_90day.html. Os dados brutos, na mesma resolução estão disponíveis via ftp no endereço: www.....).

O monitoramento de descargas elétricas constitui outra forma indireta de monitorar a precipitação e o efeito elétrico das tormentas de maior intensidade. Esses dados têm grande utilidade prática em tempo real para os sistema de manutenção das redes de distribuição de energia elétrica. Existem sistemas baseados na propagação de diferentes comprimentos de onda eletromagnética. Os sistemas baseados no monitoramento por sensores na superfície exigem uma distribuição espacial razoavelmente uniforme o que ainda não existe no Brasil. Os sensores de superfície estão integrados, numa rede que é mantida em grande parte pelas empresas de geração e distribuição de energia elétrica. FURNAS foi a pioneira neste siste

ma e hoje os dados estão disponíveis em páginas de acesso público (entretanto não em tempo real) como no SIMEPAR (www.simepar.br) ou em tempo real apenas para as companhias geradoras e de transmissão de energia.

O Programa de Monitoramento de Tempo, Clima e Recursos Hídricos - PMTCRH resulta do esforço conjunto do Governo Federal, através do Ministério da Ciência e Tecnologia dos Governos Estaduais e dos Países da América do Sul. O PMTCRH atua através de Núcleos Estaduais e equipes internacionais de

Monitoramento de Tempo, Clima e Recursos Hídricos formados por pesquisadores e técnicos nas áreas geoambiental, meteorologia, recursos hídricos, sensoriamento remoto, informática e outros. Conjuntamente com os treinamentos, PMTCRH destaca-se pela aquisição e instalação de equipamentos de ponta de informática e Plataformas Automáticas de Coleta de Dados (PCDs). Os dados coletados por essas PCD's estão disponíveis em tempo real tanto na página da ANA (<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb/>) como no CPTEC/INPE (http://www.cptec.inpe.br/dados_observados/). O PMTCRH conta com o suporte técnico-científico-operacional do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. Cabe ao CPTEC processar dados climatológicos do Brasil e do Mundo para monitoramento do tempo e do clima do País.

Dentre os serviços regionais de monitoramento do tempo e clima, deve ser destacado o trabalho que vem sendo disponibilizado, em tempo real e gratuito, pelo CIIAGRO (www.iac.br) no Estado de São Paulo. Essa página informa em tempo praticamente real as chuvas e fornece informações sobre o balanço hídrico, usando uma base de dados densa e com alto nível de controle de qualidade dos dados. Outros serviços regionais que mantêm boa base de dados de precipitação podem ser localizados nas páginas www.funceme.br (FUNCEME/CE), www.simepar.br (SIMEPAR/PR), <http://www.climerh.rct-sc.br/> (CLIMERH/SC) e outros serviços regionais que podem ser localizados na página <http://www.cptec.inpe.br/~pmtcrh/nova/oficial/html/estados.html> do PMTCRH.

É importante destacar o grande progresso que houve na disponibilização de dados pluviométricos convencionais (totais diários) de forma digital, através da página de acesso público da ANA (acima mencionada). Séries históricas podem ser obtidas facilmente e sem custo, por solicitação. Os dados pluviométricos via radar são complexos. Os dados brutos, necessários para muitos estudos de pesquisa, são compostos por arquivos enormes, de difícil manipulação e exigem software específico para tratamento, em geral não de domínio público, de alto custo. Os radares operacionais do sistema de proteção ao tráfego aéreo armazenam apenas figuras com informações básicas o que limita bastante o uso em pesquisa. As estimativas via satélite também são volumosas mas estão disponíveis em forma digital em bancos de informação meteorológica situados nos EUA. Os dados de descargas elétricas são, em geral, considerados proprietários das companhias que mantêm o sistema de monitoramento e portanto apresentam custo para recuperação, mesmo para fins de pesquisas.

Também deve ser destacada a iniciativa do INMET com relação a implementação de um laboratório de recuperação de registros hidrometeorológicos antigos, através do tratamento por processos químicos nas folhas de papel já deterioradas pelo tempo, e posterior digitalização e armazenamento em ambiente adequado. Este laboratório, único no Brasil, certamente tem estrutura física para processar as informações até hoje não digitalizadas. A infraestrutura desse laboratório poderia atender a demanda do

processo de recuperação de dados históricos de outras fontes federais e estaduais. Faltam, entretanto, recursos para a operacionalização do laboratório.

2.2. Medição e observação da evaporação.

A documentação da ANA mostra que a rede básica hidrometeorológica contém atualmente, 57 estações evaporimétricas. A medição da evaporação é importante no monitoramento de reservatórios, para estimar as quantidades de água evaporada que representa uma perda à atmosfera, suplementando estimativas obtidas por considerações do balanço hídrico. Por isto, é surpreendente que a rede é esparsa. A lei obriga empresas de energia a monitorar as afluentes aos reservatórios, as defluentes, e o volume de água armazenada, mas a empresa não é obrigada a monitorar evaporação. Além do monitoramento das perdas de água de reservatórios, a estimativa da evaporação obviamente tem grande importância na agricultura para o planejamento de programas de irrigação. As perdas de água por evaporação têm uma importância especialmente crítica no Nordeste que tem pouca água, muitos açudes, e alta evaporação. Além das perdas da água, a evaporação também resulta na salinização de reservatórios, assim diminuindo a vida útil.

A evaporação pode ser estimada a partir de (a) tanques, por fórmulas baseadas em considerações físicas e (b) diretamente, pela integração no tempo do produto da componente vertical do vento e conteúdo de umidade do ar em torres micrometeorológicas com medidas de alta frequência temporal (da ordem de dezenas de Hertz).

Não se sabe, em geral, quais são as condições da manutenção dos tanques, nem se a instrumentação é padronizada entre as estações. Como no caso da rede pluviométrica, é também necessário verificar que a exposição das estações não tem sido influenciada por construção de prédios ou crescimento de vegetação. Além de mudanças na exposição, as variáveis utilizadas na estimação da evaporação (temperatura, por exemplo) são também influenciadas pelo crescimento da área urbanizada, que pode servir como uma "ilha de calor". Portanto, além da coleta simples de dados meteorológicos, é também essencial monitorar as condições ambientais da estação. Não se sabe se estas informações são disponíveis.

Além das 57 estações na rede da ANA, existem outras estações controladas pelo INMET e outras agências, em geral associadas às secretarias estaduais de agricultura e com vínculos com o Programa de Monitoramento de Tempo, Clima e Recursos Hídricos - PMTCRH do Ministério da Ciência e Tecnologia.

As torres micrometeorológicas, usadas para as estimativas diretas da evapotranspiração (ou evaporação em corpos d'água) são mais complexas no que se refere à operação e manutenção. Há um longo histórico de uso desse tipo de instrumento na Amazônia, onde no início da década de 80 foram iniciadas as

medidas na floresta amazônica, no contexto do convênio entre o *Institute of Hydrology* na Inglaterra e o INPE e INPA em Manaus. Essas foram as primeiras medidas diretas em florestas tropicais úmidas. No início dos anos 90, o projeto ABRACOS (“Anglo-Brazilian Climate Observation Study”), ainda em convênio entre o *Institute of Hydrology*, o INPE e várias universidades no Brasil, passaram a fazer medidas em pastagens em Rondônia. Foi então possível monitorar o impacto da mudança do uso do solo, de floresta tropical para pastagens em Rondônia, no balanço energético na superfície. Em meados na década de 90 surgiu o programa LBA com estudos intensivos do intercâmbio de água entre vegetação de diferentes tipos e a atmosfera na Amazonia e também do cerrado no Brasil Central. A ênfase destes estudos foi, e ainda é, científica, com o objetivo de determinar valores dos parâmetros dos processos físicos a serem incluídos em modelos do clima global. O LBA mantém hoje cerca de 14 torres micrometeorológicas com medidas operacionais de fluxos calor, umidade e CO₂, distribuídas em Rondônia (2), Amazonas (2), Pará (Santarém-3, Caxiuanã 2, Belém-1), Brasília (2), Cuiabá (2). Está em processo de instalação uma torre na Ilha do Bananal. Informações adicionais sobre o programa de torres micrometeorológicas no LBA podem ser encontradas na página <http://lba.cptec.inpe.br/lba/>.

Outras torres micrometeorológicas com medidas de longo prazo, não especificamente relacionadas com os objetivos científicos do LBA, são mantidas pela USP com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa de São Paulo (FAPESP) no norte do Estado de São Paulo em 3 diferentes ecossistemas (cana de açúcar - com aproximadamente 5 anos de dados -, cerrado não perturbado - cerca de 2 anos de monitoramento e em implantação numa floresta de eucaliptos).

O PMTCRH provém informações particularmente relevantes para o monitoramento da evaporação dado que um significativo número de plataformas de coleta de dados contém instrumentação para monitoramento do balanço de energia na superfície, em particular, com informações sobre radiação solar. Também está nos planos do PMTCRH a instalação de sensores de umidade do solo em alguns sítios específicos, visando a ampliação da rede de monitoramento hoje confinada às torres micrometeorológicas do LBA.

Especial destaque deve ser dados à necessidade de informações sobre a umidade do solo. Esta medida é fundamental na definição das condições iniciais de modelos atmosféricos e hidrológicos distribuídos (a serem discutidos adiante). A evolução das previsões de tempo, clima e de vazões sofre grande influência do campo inicial da umidade do solo que deve ser fornecido em diferentes profundidades (pelo menos até 2 m). Medidas diretas de umidade do solo podem ser obtidas com sondas de neutrons mas também pode ser estimada através de modelos físicos do balanço de água da superfície, alimentado por dados de precipitação e estimativas da evaporação e percolação (como o que está operacional no CPTEC, através do PROCLIMA, Programa de Monitoramento Climático em Tempo Real da Região Nordeste - <http://www.cptec.inpe.br/products/proclima/index.shtml#>, ou no IAC - www.iac.br).

Satélites de monitoramento ambiental, como o ACQUA da agência espacial européia -ESA (<http://www.esa.int/export/esaCP/index.html>) também fornecem estimativas da umidade do solo que poderão ser úteis no monitoramento operacional desta importante variável de estado do solo. No Brasil, tanto a EMBRAPA como o INPE desenvolvem pesquisas sobre o uso dos novos sensores de umidade do solo à bordo das novas gerações de satélites ambientais da ESA e na NASA.

2.3. Medição e observação da vazão em rios.

Conforme a documentação da ANA, a rede básica desta agência contém (em 2002) 1.734 estações fluviométricas e existem mais 1.688 estações operadas por outras agências, principalmente no setor energético. Existem outras estações (~100) que registram cotas de água, mas que não têm curvas-chave necessárias para a estimativa da vazão. Algumas centenas de estações que operam telemetricamente. No cadastro da vazão em rios, a qualidade das curvas-chave é de importância fundamental. A partir da CPRM, a ANA opera um sistema complexo para a atualização das curvas-chave. A forma da curva-chave pode mudar gradualmente no tempo, por causa da deposição ou erosão de sedimentos no leito do rio, e estas mudanças (que podem ocorrer, por exemplo, por causa de mudanças no uso do solo, especificamente urbanização ou desmatamento) necessitam atualização regular da curva, que é difícil de fazer em regiões muito remotas. Um outro problema é que é freqüentemente necessário extrapolar a curva, para estimar as descargas altas em períodos de enchentes, e as descargas baixas em períodos secos. Por exemplo, nas estações fluviométricas da bacia do Rio Ibicuí no Rio Grande do Sul, a estimativa da vazão máxima anual necessita extrapolação da curva chave em dois anos a cada três, e a estimativa da vazão mínima necessita extrapolação em um ano a cada três. Assim, as vazões altas, especialmente, são sujeitas a alta incerteza. Estas incertezas não desaparecem com a instalação de equipamentos avançados e telemetria.

No caso dos grandes rios do Brasil, o uso do método ADCP (“Acoustic Döppler Current Profiler”) é promissor, fornecendo estimativas do transporte de sedimento em suspensão, além da estimativa da vazão; mas o uso dessa técnica é complexo em rios com pouca profundidade. Têm ocorrido várias tentativas de monitorar níveis de água em rios (e várzeas) com altimetria de satélite. Mas por enquanto, a técnica é difícil de usar; o “footprint” do sensor na superfície terrestre é grande, aumenta muito quando a água não é calma, e a precisão na vertical não é suficiente para o monitoramento do comportamento dos rios. Mesmo assim, é uma técnica que pode torna-se mais útil no futuro. Estimativas de área alagada também podem ser obtidas via sensoriamento remoto.

2.4. Medição e monitoramento de água subterrânea.

Em contraste ao monitoramento de águas superficiais, necessário para a geração de energia, o monitoramento das águas subterrâneas é muito mais fragmentado, sendo uma responsabilidade estadual e não federal. Acredita-se que muitos dados existam, e a CPRM está construindo um banco de dados (SIAGAS). Além disto, a ANA também está na primeira fase de adicionar dados sobre água subterrânea ao seu banco de dados. É possível encontrar uma resistência à centralização de dados sobre a quantidade e qualidade da água subterrânea, caso seja sempre necessário solicitar autorização para recuperação desses dados no órgão central em vez dos órgãos estaduais.

Os recursos subterrâneos têm grande importância no nordeste e na região do aquífero Guaraní; a partir de uma perspectiva internacional, a integração dos dados deste aquífero está começando com a realização do Projeto Guaraní financiado em parte pelo “Global Environment Facility” GEF (<http://oea.psico.ufrgs.br/aguas/pergunta/20001015215042.html>). Além da importância de água subterrânea para o consumo humano (na bacia do Rio Taquarí-Antas no RS, por exemplo, 74 dos 111 municípios usam somente água subterrânea) e irrigação, é muito importante monitorar as condições de poluição da água, causada pelo uso de fertilizantes (N, P) e pesticidas na produção agrícola, e de coliformes e metais pesadas em regiões urbanizadas.

2.5. Medição e monitoramento do sedimento transportado em rios.

Conforme as informações da ANA, existem 534 estações sedimentométricas, com dados coletados quatro vezes por ano. Não se sabe quantas curvas existem que permitem a estimativa do transporte de sedimento a partir da descarga. O conhecimento do transporte de sedimentos tem uma importância especial para o setor energético, porque a deposição de sedimento diminui a vida útil de um reservatório. Para o setor energético, uma necessidade fundamental é a medição regular da batimetria dos reservatórios; a ANEEL tem um grupo que está fazendo uma avaliação dos diferentes métodos, com o objetivo de obrigar as empresas no setor a fazerem este monitoramento no futuro. Atualmente, estas empresas (que tem a obrigação a comunicar a ANEEL os volumes de água armazenada) às vezes continuam a usar curvas cota-volume preparadas trinta anos atrás, quando os reservatórios foram desenhados. O problema da sedimentação em reservatórios vem sendo apontado por alguns técnicos como um potencial problema para o setor energético, para a irrigação e para o sistema de abastecimento de água nos centros urbanos. Há indícios de que o tempo de vida originalmente estimado para os grandes reservatórios foi subestimado.

O significado físico da coleta de amostras de água quatro vezes por ano, para determinar a concentração de sedimentos, pode ser questionado dado que as visitas ao campo são determinadas a partir de um cronograma prefixado que raramente coincide com as descargas maiores, quando o volume de sedimentos

transportado é também maior. Além disto, em algumas regiões do país, as visitas ao campo para coletar amostras sobre o transporte de sedimentos evitam períodos de enchentes visto que é difícil, e até perigoso, aproximar-se dos rios nestas condições. Entretanto, é exatamente em períodos de enchente que os volumes de sedimentos transportados são os maiores.

Além da importância para o setor energético, o sedimento em suspensão serve para espalhar poluição química a partir da adsorção de íons nas superfícies das partículas. Deposição do sedimento resulta na remoção de poluentes, que poderiam aparecer novamente se o sedimento entrar em suspensão quando ocorre uma enchente. Isto sugere a necessidade da observação muito mais freqüente em rios em bacias altamente urbanizadas, especialmente por causa do aumento na disponibilidade de sedimento que resulta da construção de ruas e prédios.

2.6.Observação e monitoramento da qualidade da água em rios.

Conforme as informações da ANA, existem 457 estações que registram a qualidade da água, e novamente a freqüência da amostragem é de três em três meses. Um quarto das estações estão localizadas na bacia do Rio Paraná. No caso desta rede, as variáveis registradas são temperatura, pH, turbidez e condutividade. Ao nível estadual, também existem outras redes de instrumentação com freqüência maior de amostragem, talvez mensal, com análise de aproximadamente 20 parâmetros. Conclusões sobre a qualidade de água dependem muito do (além da freqüência de amostragem) método usado para coletar as amostras, a maneira de armazenar e transportá-las ao laboratório, o tempo de armazenamento e a técnica de análise química utilizada. Portanto é essencial padronizar os procedimentos usados, comparando análises das mesmas amostras obtidas por distintos laboratórios para identificar diferenças entre as medidas realizadas pelos laboratórios. Estes problemas são reconhecidos, mas levará muito tempo e recursos para colocar dados de qualidade em uma base comum que permita a comparação da qualidade de água em locais diferentes, e/ou em períodos diferentes no mesmo local.

Uma finalidade importante para a coleta de dados sobre qualidade da água é a construção de modelos que permitam previsão dos efeitos de eventos catastróficos: derrames tóxicos, por exemplo. A coleta esporádica de amostras de três em três meses não permite a formulação destes modelos. É relevante que o relatório “Sistema de informações sobre qualidade de água e para o alerta hidrológico da bacia do Rio da Prata” (1998) tenha, como sua primeira recomendação: “Resulta necessário a ampliação do número de estações de amostragem, da freqüência de amostragem, da inclusão de índices de diversidade biótica, de toxidez e de mutagenicidade entre os parâmetros necessários, para poder chegar a uma melhor avaliação da qualidade ambiental dos recursos hídricos da bacia do Prata.” A mesma conclusão é válida para outras bacias brasileiras.

2.7. Conclusões.

Em termos dos dados atualmente coletados sobre os recursos hídricos, e da disponibilidade destes dados, as seguintes conclusões são evidentes.

- 2.7.1. Existem muitos dados que caracterizam a quantidade e qualidade dos recursos hídricos brasileiros;
- 2.7.2. Como é de se esperar no caso de um país de tamanho continental, os dados são de qualidade variável;
- 2.7.3. Os dados são distribuídos entre várias agências, e nem todas facilitam a divulgação dos dados para análise crítica por parte da comunidade científica;
- 2.7.4. Os desafios futuros (possibilidade de mudanças climáticas influenciarem os recursos hídricos brasileiros; aumento da urbanização) necessitarão coordenação e cooperação aos níveis estaduais, federais e das agências, para o país poder obter conhecimento com máxima antecedência.
- 2.7.5. A constatação de que a natureza da precipitação (convectiva intensa ou leve e contínua) possa estar relacionada com o tipo de material particulado em suspensão na atmosfera (por exemplo produzidos por queimadas ou emissões urbanas), leva à necessidade de um mais eficiente sistema de monitoramento da composição do ar (medidas de concentração de aerossóis).
- 2.7.6. A frequência de observação das nuvens pelo satélite geoestacionário GOES-8 não atende os requisitos observacionais necessários para o adequado monitoramento da precipitação. É fundamental que o país possa contar com observações via satélite com intervalo de 15-30 min.
- 2.7.7. A infra-estrutura do INMET para recuperação e processamento de dados históricos vem sendo sub-utilizada. É fundamental investir na recuperação de séries históricas usando essa infra-estrutura laboratorial já disponível.
- 2.7.8. É fundamental a criação de uma estrutura gerencial federal que coordene as atividades de Meteorologia, tanto ao nível da coleta das informações como na geração de produtos para usuários. Essa estrutura de gerenciamento deverá dar especial atenção ao atendimento das normas de observação e de qualidade instrumental no sistema observacional.

Os autores deste Position Paper também identificaram nas entrevistas com órgãos geradores de informações e com usuários que existe uma enorme base de dados pluviométricos que são coletados por instituições privadas ou mesmo por pessoas físicas que têm interesse no tema. Algumas empresas coletam os dados

em suas próprias bases de operação em função da (a) necessidade da informação local, (b) dificuldade no acesso à informação coletada por algum órgão público em tempo real. Observa-se, também, que muitos desses sensores de precipitação (ou mesmo de outras variáveis meteorológicas) não seguem os padrões indicados pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) ou a coleta não é feita nos horários preconizados pela OMM. Os sistema de monitoramento, como um todo, poderia se beneficiar de um amplo programa de observações voluntárias, semelhante ao que existe em alguns países como nos EUA e na Inglaterra.

Também foi observado que existe um problema de adequação às normas da OMM com relação ao horário de observação da chuva acumulada diariamente. As normas da OMM especificam que a medida deve ser realizada às 12 GMT, ou seja, às 09 Hora Local em Brasília. Entretanto, a maior parte das medidas realizadas pela rede hidrológica faz a leitura às 07 Hora Local de Brasília. Este problema vem sendo apontado pelo INMET há anos, sem ter havido nenhuma alteração nas práticas de observação.

3. O USO DE DADOS NA MODELAGEM HIDROLÓGICA DE RECURSOS HÍDRICOS E ESTUDOS AMBIENTAIS.

A seção anterior descreve os dados hidrológicos coletados pelas redes instrumentais, e esta seção descreve algumas aplicações que utilizam estes dados. Todas estas aplicações necessitam a construção de modelos estatísticos ou matemáticos, e estes modelos têm que ser “calibrados” para verificar que eles dão previsões consistentes com as já observadas no passado. Quanto maior as quantidades de dados confiáveis, tanto melhor a confiança nos resultados fornecidos pelos modelos com referência ao uso e gerência futuros de recursos hídricos e ao manejo de ambientes naturais. Os usos principais destes modelos estatísticos e matemáticos são três: (i) previsão das vazões em rios (e, em consequência, a previsão das afluentes aos reservatórios); (ii) análise do impacto de alterações do sistemas naturais; e (iii) a estimativa da frequência de ocorrência de eventos extremos que dificultam a gerência dos recursos hídricos (principalmente vazões baixas, e enchentes). As seguintes sub-seções tratam desses itens.

3.1 Modelos Hidrológicos utilizados para previsão operacional.

Do ponto de vista nacional, uma aplicação de importância enorme é a previsão das afluência nos reservatórios utilizados para gerar energia hidrelétrica, uma responsabilidade do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). O ONS utiliza modelos para estimar as vazões com antecedência de dias a algumas semanas e meses. Adicionalmente, o ONS também utiliza Modelos Hidrológicos para fornecer um “cenário” do comportamento possível das afluências, com 12 meses de antecedência ou mais: este é um típico caso em que cenários são

traçados pois não é possível fazer *previsões* precisas de vazão futura, com este grau de antecedência.

Algumas empresas responsáveis pela operação dos reservatórios fornecem previsões da vazão diária na área de sua responsabilidade; quando estas previsões da vazão diária não são fornecidas pelas empresas em tempo hábil, ou se são fornecidas mas estão fora da realidade, a ONS também calcula previsões de vazões diárias usando seus próprios métodos. Assim, a previsão das vazões em rios brasileiros é extremamente importante para o ONS, tanto nas escalas de tempo diárias e semanais como na escala mensal, sendo o conhecimento destas vazões necessário para o planejamento da operação do sistema elétrica.

Os Modelos Hidrológicos utilizados pela ONS (a) são estocásticos (isto é, os modelos são relações empíricas e não incluem explicitamente conhecimento da fase terrestre do ciclo hidrológico); (b) exprimem a vazão em cada intervalo (semana, mês,...) em termos somente das vazões em períodos anteriores, estas vazões ocorrendo linearmente no modelo (isto é, os modelos não utilizam informações sobre a precipitação ou evaporação, nem as informações sobre o uso do solo dentro de uma bacia hidrográfica); (c) a seqüência de vazão registrada a cada posto fluviométrico é modelada separadamente usando um modelo concentrado (isto é, sem levar em conta a variabilidade espacial de vegetação, solo, e processos hidrológicos). Adicionalmente, os modelos (d) não levam em conta explicitamente as correlações espaciais que fazem com que as vazões sejam altas (baixas) em diferentes postos fluviométricos, em períodos úmidos (secos).

Os modelos utilizadas pela ONS pertencem a uma família estatística de modelos denominada ARMA (do termo inglês, *Auto-Regressive Moving Average*). A explicação para o uso extensivo de modelos desta família é basicamente radicada na história. A Eletrobras foi obrigada a produzir rapidamente um sistema de previsão e os modelos ARMA eram amplamente disponíveis e relativamente fáceis de calibrar e a entender, e uma vez estabelecidas as relações estatísticas, esses modelos permanecem em uso até o presente. Os modelos da família ARMA têm também algumas vantagens: principalmente pelo trivial cálculo dos intervalos de confiança (ou mais corretamente, intervalos de previsão) que incluem a vazão a ser observada no futuro, com uma probabilidade especificada (por exemplo 95%). Além disto, a calibração de modelos ARMA é muito rápida e pode ser rapidamente atualizada após recepção de novos dados. O conjunto de programas que inclui o componente PREVIVAZ, por exemplo, permite a seleção entre vários modelos do tipo ARMA, ou de modelos ARMA ajustados mês por mês (modelos PARMA), com ou sem várias transformações das vazões. Um resultado desta gama extensa de possibilidades é que o modelo usado para previsão pode ser muito diferente em meses ou semanas consecutivas.

No entanto, os modelos ARMA (e suas variações) têm desvantagens no contexto de previsão de vazões futuras e da disponibilidade de energia futura. Uma das desvantagens principais é que as previsões são baseadas somente nas

vazões do passado, sem utilizar conhecimento da relação chuva-vazão, nem da equação física de continuidade que representa o balanço hídrico. Além disso, os modelos ARMA não são apropriados para modelar vazões em condições de mudanças no clima (naturais de longo prazo ou de origem antropogênicas) ou no uso do solo. Vários estudos (notavelmente Müller et al., 1998) têm mostrado que os regimes, tanto da vazão como da precipitação, estão em transição na bacia do Alto Paraná, região de grande produção de energia hidrelétrica. Também pode ser questionada a validade da base teórica (gaussianidade dos componentes aleatórios; reversibilidade) de modelos ARMA no contexto hidrológico. Estas complicações não foram devidamente reconhecidas, ou talvez sejam de menor importância relativamente a outros fatores mais imediatos, quando a decisão de obter previsões de vazão a partir de modelos ARMA foi tomada.

Desenvolvimentos recentes, entretanto, permitem hoje o uso de modelos mais complexos, mas mais realistas fisicamente, do que modelos do tipo ARMA, especificamente Modelos Hidrológicos Distribuídos, com características apresentadas na seção seguinte. Estes desenvolvimentos incluem as seguintes considerações.

- Os desenvolvimentos computacionais, tanto em “hardware” como em “software”, agora permitem o cálculo de intervalos de confiança para as previsões da vazão de qualquer modelo complexo;
- Nas décadas recentes ocorreram desenvolvimentos estatísticos que permitem a modelagem estatística de precipitações diárias, mesmo que o regime de precipitação não seja estacionário (Stern e Coe, 1984; Coe e Stern, 1982; McCullagh e Nelder, 1989). Assim, no contexto de cenários da vazão produzidos com 12 meses de antecedência, é possível usar estes modelos de precipitação diária, calibrados para cada estação pluviométrica em uma bacia hidrográfica, no cálculo dos cenários. Além disso, o cálculo de (por exemplo) 1000 cenários futuros, cada de 12 meses, para cada posto pluviométrico, é muito rápido, permitindo estimação da incerteza no quadro inteiro.

Estes desenvolvimentos fazem com que as vantagens de modelos da família ARMA, em termos da facilidade de ajuste e da facilidade de atualização, agora têm uma importância menor. Hoje em dia, existe a possibilidade de usar modelos que utilizam mais dos dados disponíveis, e que aproveitam do maior conhecimento dos processos físicos que fazem a conversão de precipitação em vazão. Assim, uma recomendação dos autores deste *Position Paper* é que (i) a previsão de vazões futuras seja prosseguida, em alguns estudos pilotos, a partir de modelos distribuídos, para comparação com as previsões obtidas por modelos tipo ARMA; (ii) as incertezas nestas previsões sejam avaliadas e comparadas com as incertezas em modelos tipo ARMA.

3.2 Modelos Hidrológicos Distribuídos.

Hoje, a gama de ferramentas disponíveis para previsão de vazão, baseadas na modelagem dos processos físicos aumentou significativamente, como mostrado a seguir:

- Modelos Hidrológicos Distribuídos são disponíveis que são baseados na equação de continuidade da água, mantendo o balanço hídrico entre precipitação, vazão, evaporação e infiltração;
- Estes Modelos Hidrológicos Distribuídos podem incorporar as informações sobre o uso do solo obtidas por sensoriamento remoto (satélite ou radares à bordo de aeronaves instrumentadas), e informações sobre o terreno e topografia de uma bacia hidrográfica;
- Modelos Hidrológicos Distribuídos podem ser utilizados em grandes bacias, e podem ser calibrados de forma relativamente rápida (a calibração pode levar algumas horas de um PC, comparado com os milissegundos necessários para o ajuste de um modelo ARMA. Mas esta diferença no tempo de calibração não é significativa quando as previsões as vazão são feitas com semanas ou meses de antecedência);

Nos Modelos Hidrológicos Distribuídos a bacia hidrográfica é tipicamente subdividida em elementos de área, e o uso do solo dentro de cada elemento, é caracterizado em uma ou mais classes, sendo de escolha do usuário o número de classes de vegetação (Collischonn, 2001; Collischonn e Tucci, 2001). A precipitação diária em cada elemento de área é estimada por interpolação entre as estações pluviométricas da bacia, da mesma forma é estimada a evaporação potencial. Um balanço hídrico é calculado para cada classe de vegetação dentro de cada elemento de área, a vazão superficial é calculada e é transferida aos elementos vizinhos, até o exultório da bacia, usando uma forma discretizada da topografia da bacia. A infiltração da água no solo é tratada semelhantemente. Na calibração do modelo, pode-se usar uma técnica de otimização multi-objetiva, a partir de um algoritmo “genético” (Sorooshian et al., 1998; Collischonn, 2001; Gupta et al., 1998; Boyle et al., 2000).

Existem vários modelos distribuídos que poderiam ser incluídos na comparação; um modelo que tem sido usado com sucesso, em várias sub-bacias do Rio Uruguai e na bacia do Alto Paraguai é um modelo desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Collischonn, 2001), mas existem outros modelos distribuídos que também deveriam ser avaliados (por exemplo, TOPMODEL de Beven et al., 1995; o modelo VIC de Wood et al., 1992, e suas versões posteriores; e o modelo Açumod desenvolvido na Universidade Federal da Paraíba e já testado em bacias do Nordeste: Passerat de Silans et al., 2000). O modelo de Collischonn (2001) foi usado com sucesso, junto com previsões da precipitação diária calculada a partir

de um modelo da circulação atmosférica (veja próxima seção), na bacia do Rio Uruguai. As previsões obtidas pelo uso deste modelo, com até três meses de antecedência, mostraram um desempenho superior às previsões obtidas por modelos estatísticos. Sem incluir as previsões da precipitação, o modelo foi também utilizado na modelagem da sub-bacia do Rio Taquari no Pantanal, e do Rio Taquari-Antas no Rio Grande do Sul.

Modelos distribuídos são forçados pela distribuição da precipitação no tempo. Evidentemente, no caso de bacias hidrográficas de longo tempo de resposta, a alimentação com a chuva observada pode levar a prognósticos de destreza significativamente mais alta que os modelos estocásticos, desde que devidamente calibrados. Entretanto, em bacias com tempo de resposta curto (p. ex. da ordem de dias), torna-se absolutamente necessário fornecer estimativas da evolução temporal da precipitação baseadas em prognósticos meteorológicos.

Os modelos hidrológicos distribuídos requerem informações detalhadas das características físicas da superfície com a qual estão acoplados através de algum modelo de interação solo/planta/atmosfera (SVAT em inglês - *Soil Vegetation Atmosphere Transfer models*). Como será visto adiante, os modelos meteorológicos também trocam energia com a superfície através de modelos SVAT. Entretanto, em geral, os modelos SVAT hidrológicos e atmosféricos são distintos na forma de tratar os processos físicos.

Os modelos hidrológicos distribuídos também exigem um processo bem mais complexo de inicialização em comparação com os modelos estocásticos (onde a condição inicial é essencialmente dada pela vazão observada no passado recente). Além do processo de inicialização, esses modelos também requerem condições de fronteira que, em geral, são fornecidas via sensoriamento remoto (tipo de vegetação e estado da mesma, por exemplo o índice de área foliar - LAI) ou de análises *in loco*, como as características físicas do solo a diversas profundidades.

3.3 Modelos de previsão atmosférica.

A previsão de tempo é normalmente dividida nas seguintes escalas temporais: (a) até 12 horas - muito curto prazo ou *nowcasting*, (b) curto prazo de 12 a 48 horas; (c) médio prazo - até 10 dias e (d) longo prazo ou intrasazonal, de 10 a 60 dias. A previsão climática em geral é fornecida na escala de tempo sazonal (i.e., até 4 ou 6 meses).

As previsões de tempo no Brasil sofreram grande avanço com introdução da previsão numérica de tempo produzida pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), órgão do INPE, que começou a operar de forma regular em 1995. Essas previsões são realizadas em computadores de alto desempenho com arquitetura paralela e vetorial e produzidas sobre o Brasil com resolução da ordem de 40 km com 72 de antecedência e globais com resolução

de aproximadamente 100 km com até 6 dias de antecedência. Os resultados, na forma de figuras ou digital estão disponíveis duas vezes ao dia, com horário inicial às 00 e 12 GMT (<http://www.cptec.inpe.br>). O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) também faz previsões numéricas regionais operacionais sobre a América do Sul com antecedência de 60 horas, duas vezes por dia (www.inmet.gov.br). Além dos produtos numéricos disponibilizados pelas agências brasileiras, produtos numéricos de previsão de tempo até 10 dias estão disponíveis em páginas internet de acesso público nos EUA, produzidas pelo NCEP (*National Centers for Environmental Prediction*). A Diretoria de Hidrografia e Navegação do Ministério da Marinha (DHN) também produz operacionalmente previsões numéricas regionalizadas no Atlântico.

As previsões climáticas são realizadas por métodos estatísticos ou através da simulação com complexos modelos dinâmicos em computadores de alto desempenho. A metodologia estatística, produzida em diversos centros, vem fornecendo resultados em geral com destreza acima da climatologia, porém com dificuldade no que se refere à regionalização e falha em condições não típicas. Apesar de existirem alguns centros estrangeiros de previsão climática por simulação em computadores (por exemplo, <http://iri.ucsd.edu/forecast>), desde 1995 e até os dias atuais, o CPTEC/INPE é o único Centro Meteorológico na América Latina que operacionalmente produz previsões numéricas de tempo e clima para o Brasil em forma digital com 5 meses de antecedência (www.cptec.inpe.br/products/indexp.html). Os centros de previsão climática no exterior disponibilizam apenas produtos gráficos e interpretações na forma de texto das previsões climáticas sazonais. Entretanto, a previsão produzida pelo CPTEC (assim como os outros centros mundiais), também é de baixa resolução espacial, não fornecendo detalhes regionais (resolução da ordem de 180km).

A regionalização da previsão climática e da previsão de tempo através de um sistema predictor de mesoescala (resolução da ordem de poucos km no caso do tempo e poucas dezenas de km no caso do clima) também existe o uso de computadores de alto desempenho. O IAG/USP vem desde 1995 produzindo experimentalmente previsões de mesoescala em São Paulo com 48 horas de antecedência e mais recentemente com 72 horas (www.master.iag.usp.br). Previsões climáticas regionais com dois meses de antecedência também estão disponíveis na página do IAG/USP no mesmo endereço. O CPTEC está implantando experimentalmente um sistema de prognóstico climático baseado no modelo ETA com 80 km de resolução sobre toda a América do Sul. Nos últimos dois anos várias instituições de ensino e pesquisa estão produzindo previsões regionalizadas, baseadas em modelos numéricos de mesoescala (UFRJ com produtos no endereço www.lpm.meteoro.ufrj.br/; UFRGS .; Sistema Meteorológico do Paraná - SIMEPAR no endereço www.simepar.br; o Instituto de Pesquisas Meteorológicas da UNESP em Bauru - IPMET no endereço www.ipmet.unesp.br).

Uma das características importantes do modelo do CPTEC e que o torna peculiar com relação aos demais modelos utilizados em centros internacionais de previsão climática e de tempo é o procedimento utilizado para simular os efeitos

de trocas de calor, *momentum* e água na superfície continental. O modelo do CPTEC utiliza um procedimento denominado SIB (Simplified Biophere) no qual o papel da vegetação é representado na forma de resistência ao transporte de água entre solo e a superfície das folhas através das raízes e depois entre a superfície das folhas e o ar através dos estômatos. Em adição, considera-se de forma razoavelmente realista o processo de transferência radiativa no dossel e o processo de interceptação da água da chuva pelas plantas (e posterior evaporação). Os parâmetros do SIB foram devidamente calibrados com dados representativos de florestas e pastagens no Brasil de forma que os processos de superfície representados pelo modelo são bastante reais. Este é, seguramente, um dos pontos fortes do modelo do CPTEC e que o torna particularmente relevante para estudos da variabilidade climática na América do Sul e também para prognósticos climáticos.

No caso dos oceanos, as trocas de calor, *momentum* e vapor d'água são dependentes da temperatura da superfície do mar (TSM). O CPTEC adota dois procedimentos para fornecer a TSM para o modelo atmosférico durante o período de integração: (a) anomalias de TSM persistidas em todos os oceanos e (b) TSM prevista pelo NCEP no Pacífico Equatorial e TSM prevista por um modelo estatístico (SIMOC) no Atlântico Tropical. Fora das áreas tropicais do Pacífico e Atlântico, em todo o Oceano Índico e demais oceanos, utiliza-se a TSM fornecida pela persistência das anomalias observadas no início da integração. Os dois procedimentos são necessários dado que o modelo do CPTEC não é acoplado a um modelo oceânico. Os dois procedimentos também são importantes para testar a influência das anomalias de TSM que têm significativo impacto nas anomalias climáticas observadas em algumas áreas do globo. Em particular, as anomalias de TSM do Oceano Pacífico Equatorial exercem importante controle no clima da região sul do Brasil em função do fenômeno El Niño/La Niña.

A circulação de grande escala e a precipitação na região tropical são completamente determinadas pelas condições de contorno da temperatura da superfície do mar (TSM), segundo Shukla (1998). Uma forma de maximizar o desempenho da previsão sazonal é utilizar a técnica de previsão por conjuntos. Esta técnica consiste em construir um conjunto de possíveis estados iniciais, ligeiramente diferentes entre si, e integrar o modelo numérico a partir de cada estado inicial, produzindo um conjunto de previsões. Para previsão climática sazonal, o método mais utilizado para gerar o conjunto de estados iniciais é escolher condições iniciais separadas de 24 horas. A simplicidade na escolha das condições iniciais pode ser justificada pela escala temporal do problema, pois supõe-se que a previsibilidade sazonal não é função do estado inicial, mas sim uma resposta da atmosfera às condições de contorno (Stern e Miyakoda, 1995). Dado o caráter caótico da dinâmica da evolução do estado da atmosfera, um efeito intrinsecamente associado à não linearidade do sistema, o CPTEC adota a denominada "previsão por conjuntos" (*ensemble forecasting*). Entre 20 e 30 previsões de 6 meses são realizadas mensalmente, partindo de condições iniciais diferentes (dias $i=1$ a 20 ou 30 às 12 GMT). Desta forma é possível estimar o grau de previsibilidade (i.e., a confiabilidade) nas previsões numéricas. O procedimento

utilizado pelo CPTEC pode ser considerado de ponta, sendo absolutamente equivalente ao utilizado nos principais centros mundiais de previsão climática. A previsão por conjuntos é fundamentada em estudos teóricos que indicam que a média do conjunto tem acuidade melhor que elementos individuais se as condições iniciais forem representativas da distribuição inicial de probabilidade do campo básico em torno da análise inicial do controle (Leith 1974).

O conjunto de previsões climáticas do CPTEC é, na realidade, composto por dois sub-conjuntos. O primeiro é obtido pelo uso da sistemática de previsão com anomalia de temperatura da água do mar persistida durante a integração e o segundo com a temperatura prevista nas áreas oceânicas tropicais, conforme descrito no item anterior.

No caso da previsão de tempo o CPTEC também adota um esquema semelhante. Neste caso, entretanto, cerca de 10 previsões são geradas a partir de pequenas perturbações da condição inicial. Segundo os autores do método (Zhang e Krishnamurty 1997) utilizado no CPTEC, perturbações geradas a partir deste método apresentam taxa de crescimento maiores do que simples perturbações randômicas.

É interessante considerar a estratégia de previsão usada pelos centros produtores deste tipo de previsão na Brasil. O CPTEC adotou modelos de previsão de tempo originalmente desenvolvidos em instituições nos EUA. No caso do modelo global, a origem do modelo esta no Center for Ocean and Land Studies (COLA) e o modelo regional é o desenvolvido no NCEP, denominado modelo ETA. Esses dois modelos vêm sofrendo significativa evolução, tanto do ponto de vista da eficiência numérica (adaptação à arquitetura dos computadores vetoriais disponíveis no CPTEC), como nas parametrizações dos processos físicos. Esses avanços tecnológicos e científicos estão sendo financiados por projetos financiados pela *NEC Corporation* ou pela *FINEP*, envolvendo várias instituições brasileiras, como o Instituto de Matemática Pura e Aplicada (IMPA), o Instituto de Matemática e Estatística da USP (IME), o Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP (IAG).

O INMET contratou o serviço de implementação de um modelo numérico do serviço meteorológico da Alemanha nos computadores de alto desempenho (de arquitetura paralela) adquiridos com recursos orçamentários. Foram inicialmente contratados especialistas em previsão numérica para manter o sistema em funcionamento e para adaptá-lo as condições brasileiras. Entretanto, a equipe inicial não pode ser mantida e o sistema é hoje mantido de forma muito próxima àquela originalmente implementada há vários anos. Um procedimento semelhante foi seguido pela Diretoria de Hidrografia e Navegação do Ministério da Marinha.

O IAG/USP optou pelo uso de um modelo de mesoescala denominado RAMS (*Regional Atmospheric Modeling System*), com código proprietário (uma parceria entre a Colorado State University e a empresa ATMET nos EUA - <http://www.atmet.com/>). A opção pelo RAMS foi baseado no fato de o modelo ser

suficientemente flexível para trabalhar com grades da ordem de metros de resolução (de interesse para estudos sobre dispersão de poluentes e microfísica da precipitação) até centenas de km (i.e., para previsão de tempo e clima). A eficiência numérica do código vem do paralelismo dos algoritmos de solução numérica, baseados na quebra em subdomínios atribuídos a cada processador, uma forma eficiente em computadores de arquitetura paralela com memória distribuída (mais baratos). No caso do RAMS, há um esforço financiado pela FINEP para desenvolvimento de uma versão do RAMS mais adaptada à realidade brasileira.

Nos últimos anos houve significativo progresso no uso de outros modelos de previsão de tempo em mesoescala de forma operacional. Significativo esforço foi colocado no sentido de implementar códigos de domínio público, como o MM5 do NCAR/EUA - www.mmm.ucar.edu/mm5/mm5-home.html (como no caso da UFRJ) e o modelo ARPS/EUA - <http://tornado.caps.ou.edu/wx/> (no caso do SIMEPAR). O IPMET/UNESP usa o MAL (Modelo de Área Limitada), originalmente desenvolvido pela *Japan Meteorological Agency* - JMA (ver www.ipmet.unesp.br/modelos/modelo.html). Todos esses modelos foram especificamente desenhados para simulações e previsões de tempo em mesoescala (malhas da ordem de km até centenas de km).

Uma análise mais detalhada da capacidade dos modelos meteorológicos ora em uso no Brasil em reproduzir características básicas dos balanço de água e de energia revela que é essencial promover especial esforço no sentido de aprimorar a capacidade dos modelos atmosféricos em reproduzir esses balanços nos diversos ecossistemas naturais e agrícolas existentes no Brasil. As parametrizações usadas nos modelos em geral são adaptadas de modelos desenvolvidos em latitudes mais altas ou com base em dados tropicais essencialmente de regiões oceânicas. Os resultados de experimentos de observação na Amazônia, como no caso do LBA, estão revelando diferenças significativas entre os valores previstos por modelos e os observados.

Outro esforço importante, e que já está em andamento, é o de aprimorar a eficiência numérica dos códigos dos modelos, de forma a adequá-los a computadores de arquitetura paralela, de menor custo e portanto acessíveis a grande parte da comunidade científica brasileira.

3.4 Uso combinado de Modelos Hidrológicos com Modelos Climáticos em pesquisa.

Na seção anterior foram descritas algumas características dos Modelos Hidrológicos Distribuídos. O desenvolvimento histórico deste modelos hidrológicos segue em paralelo ao desenvolvimento de modelos da circulação atmosférica, a um nível que hoje é possível prever cenários de evolução da precipitação diária com alguns meses de antecedência.

Na prática, as previsões obtidas a partir de um modelo da circulação atmosférica global (GCM), de baixa resolução (da ordem de 100-200km) ou de modelos de previsão climática regional de alta resolução (30-80km), aninhados nos GCM, resultam da iniciação do modelo com condições iniciais em dias sucessivos, fazendo com que é necessário trabalhar com um conjunto ou *ensemble* de previsões.

Assim, é possível hoje vincular o Modelo Hidrológico distribuído com as previsões de um GCM, para providenciar previsões da vazão futura. Os autores deste *Position Paper* recomendam que o desempenho destas previsões da vazão, obtidas a partir das previsões da precipitação dadas por um GCM, seja estudado em outros estudos piloto.

Também é recomendado que a modelagem dos processos de superfície dos modelos hidrológicos distribuídos e dos modelos atmosféricos sejam compatíveis, ou preferencialmente, que sejam idênticas no que se refere à formulação dos processos físicos. Observa-se hoje que os modelos são desenvolvidos de forma independente e o nível de acoplamento entre o modelo hidrológico e atmosférico é feito ao nível apenas da precipitação diária prevista pelo modelo atmosférico. É preciso colocar ênfase no desenvolvimento de modelo efetivamente acoplados, visando a integração com modelos de outras componentes do sistema ambiental, i.e., de um modelo simulador do ambiente como um todo.

Modelos hidrológicos distribuídos devem ser usados para avaliar o impacto da variabilidade natural e das mudanças climáticas. A variabilidade natural do clima ocorre em diferentes escalas temporais: (a) intrasazonal (20-60 dias), (b) interanual (2-5 anos), (c) interdecadal e (d) séculos ou escalas mais longas. No último caso, as principais forçantes são de origem solar (os ciclos de Milankovitch). A interação oceano atmosfera também é bastante efetiva nestas longas escalas de tempo em particular em função dos ciclos de longo prazo (decadais e seculares) das circulações oceânicas no Atlântico e Pacífico que alteram as temperaturas superficiais e portanto com forte impacto no clima regional e global (vide exemplo da influência do El Niño/Oscilação Sul). Mais especificamente, recomenda-se o uso de modelo distribuídos para estudos sobre:

- (i) influência da El Niño/Oscilação Sul no regime hidrológico das principais bacias hidrográficas que apresentam correlação com este evento (em particular as bacias do sul do Brasil e da Amazônia);
- (ii) influência de anomalias de temperatura da superfície do mar no Oceano Atlântico sobre o regime de chuvas no Brasil;
- (iii) impacto de alterações no uso do solo. Em particular, efeito dos grandes desenvolvimentos agrícolas e da urbanização;
- (iv) impacto dos cenários de mudanças globais associados ao aumento da concentração de gases de efeito estufa. Possíveis cenários podem ser

retirados das simulações desenvolvidas para o International Panel for Climate Change (2001);

- (v) análise de extremos climáticos associados à variabilidade decadal (ou de escala de tempo mais longa). Esses cenários podem ser definidos em função do comportamento climáticos no período de dados históricos disponíveis (praticamente nos últimos 100 anos) ou inferidos a partir de dados paleoclimáticos baseados em registro de anéis de árvores, paleolimnológicos ou outras formas de reconstituição do clima do passado.

3.5 Uso de modelos hidrológicos distribuídos no planejamento urbano.

O desenvolvimento da infra-estrutura urbana tem sido realizada de forma inadequada, o que tem provocado impactos significativos na qualidade de vida da população. A drenagem urbana tem sido um dos principais veículos de deterioração deste ambiente, devido à própria concepção do sistema de drenagem pluvial e a ações externas, como a produção de resíduos sólidos e os padrões de ocupação urbana. Além disso, as soluções adotadas, no âmbito de engenharia, para a drenagem urbana as vezes têm produzido mais danos do que benefícios ao ambiente.

Para a tomada de decisões é necessário que os resultados das potenciais alternativas sejam avaliados. As mesmas são estabelecidas dentro de cenários definidos pela ocupação do espaço urbano e pelo risco de projeto. Os cenários de ocupação do espaço urbano são definidos à partir de padrões de uso do solo e da projeção de tendência futura dentro de horizontes de 10, 20 ou 30 anos. O risco é escolhido com base na capacidade de investimento e dos prejuízos potenciais.

A simulação de alternativas é então uma das principais etapas no planejamento da drenagem urbana. As simulações a serem realizadas abrangem diferentes cenários de ocupação da bacia, referidos à urbanização presente e futura; ou a diferentes padrões de ocupação da bacia (Villanueva e Tucci, 2001). Os modelos utilizados nessas simulações são de dois tipos: (a) *modelo chuva-vazão*: modelo hidrológico que calcula a partir da precipitação a vazão resultante que entram nas galerias e canais; (b) *modelo de rios, canais, galerias e reservatórios*: modelo hidrológico ou hidráulico que simula o escoamento em canais, galerias, detenções, etc.

A prática de utilizar modelos distribuídos vem da necessidade de estimar a vazão que aporta em diferentes pontos na rede de macrodrenagem; e da grande variabilidade do grau e características da urbanização. Além do mais, a variabilidade acontece não só na condição atual da urbanização, mas também nos cenários de urbanização futura adotados para planejamento.

O adequado dimensionamento dos projetos (e funcionamento das obras)

depende de simulações de boa qualidade. Por sua vez, simulações de boa qualidade só são obtidas quando é possível estimar com boa precisão os parâmetros dos modelos utilizados. Nas condições usuais de trabalho os parâmetros do modelo hidrológico devem ser estimados com base em características físicas da bacia ou da rede de drenagem, seja por ausência de dados para ajuste ou para simular situações futuras. A partir disso é claro que há necessidade de dados fundamentalmente para dois fins: i) ajuste (calibração) dos modelos para simulação de situações atuais; ii) desenvolver relações entre valores dos parâmetros e características da bacia, fundamentalmente características da urbanização.

Alem disso, diferentes estudos mostram que, em áreas urbanas, as características das precipitações podem variar muito em curtas distâncias (Silveira, 1997). Portanto, escassez (ou ausência) de pontos de medição de chuva na cidade pode significar erros grandes nas precipitações de projeto, e a partir delas em todo o resto do processo. Esses erros se traduzem em prejuízos à população, seja por mal funcionamento do sistema de drenagem pluvial, seja por sobrecustos, e freqüentemente pelas duas coisas simultaneamente. É possível provar (Allasia, 2002) que os custos de monitoramento de áreas urbanas, além de não ser intrinsecamente altos, são quase desprezíveis quando comparados aos sobrecustos e prejuízos causados pelos erros devidos à falta de dados em quantidade e qualidade suficientes.

3.6 A regionalização de dados hidrológicos.

Ocorre freqüentemente que não existem observações da vazão ao ponto de um rio aonde uma obra está planejado; também, se existam observações da vazão, acontece que a seqüência é curta demais para ser útil. Nestas situações, é necessário utilizar técnicas de regionalização hidrológica para estimar as características do regime de vazão: isto é, utiliza-se os registros mais extensos da vazão em locais vizinhos para fazer inferências ao local de interesse (veja por exemplo Tucci, 1991). As técnicas de regionalização hidrológica são freqüentemente fundamentadas em regressão múltipla: por exemplo, a média da vazão média anual (ou a vazão máxima anual; vazão mínima anual com 7 dias de duração, entre outras possibilidades) é calculada em cada dos locais vizinhos, e estas médias são correlacionadas com as características físicas das correspondentes bacias hidrográficas (área de drenagem, declividade, etc....). Conhecimento destas características ao local de interesse possibilita estimação da vazão média anual (e outras características da vazão).

Este método de regionalização a partir de regressão múltipla contém duas limitações:

- A primeira, e possivelmente a mais séria, é que depende na suposição de que todas as seqüências da vazão aos locais vizinhos são estacionárias. Mas, notavelmente na bacia do Alto Paraná, tem muita

evidência na literatura hidrológica da não-estacionaridade (por exemplo Müller et al., 1998), tanto nos regimes da precipitação como da vazão – os regimes são em estados de mudança, talvez de um estado estável para um outro estado estável, associado com desmatamento e a transição a uma agricultura intensiva. É necessário o desenvolvimento de técnicas modificadas de regionalização, que levam em conta esta não-estacionaridade. Resultados de pesquisa nesta área importante estão aparecendo na literatura (Clarke, 2002a), mas muito mais problemas existem.

- A segunda limitação é que a regionalização a partir de regressão múltipla não utiliza as informações sobre a configuração espacial das estações cujos dados são utilizados na obtenção da regressão múltipla. Isto é, sendo a regressão calculada a partir dos dados de N postos fluviométricos, não se leva em conta o fato que alguns destes postos são mais próximos ao local de interesse – e portanto deveriam ter um peso maior – do que os outros. É desejável estender as técnicas de regionalização hidrológica, para aproveitar das informações sobre a disposição geográfica dos postos, relativos ao local de interesse.

Relacionado à regionalização hidrológica é o tópico da extensão dos registros hidrológicos. Quando existe somente uma curta seqüência de observações da vazão a um local de interesse, uma abordagem freqüente envolve a procura de uma ou mais seqüência(s) mais extensa(s) da vazão, registrada em estações vizinhas da região. A mesma técnica se usa também para “estender” as seqüências de observações meteorológicas. Supõe-se que esta transferência de informações (que na forma mais extrema às vezes envolve a extensão das seqüências até uma data inicial comum) é sempre desejável, mas isto não é verdade; se a escolha das seqüências mais extensas não se faz cuidadosamente, é possível perder informações, a transferência simplesmente resultando em uma “diluição” dos dados disponíveis à estação com curta seqüência. Uma recomendação deste *Position Paper* é a divulgação deste perigo e de alguns estudos pilotos para ilustrar e quantificar as situações nas quais estas perdas da informação ocorrem.

3.7 A estimacão da freqüência de ocorrência no futuro de eventos importantes para a gerência de recursos hídricos.

Além da previsão de vazões futuras a ocorrer nas próximas semanas ou meses, um outro uso extremamente importante de dados hidrológicos é para estimar a freqüência de ocorrência no futuro de eventos que dificultam a gerência de recursos hídricos: por exemplo, vazões baixas que poderiam prejudicar a produção de energia ou sistemas de irrigação, e enchentes que poderiam danificar infraestrutura. A suposição crítica na qual se baseia todas as técnicas hidrológicas para a estimacão das freqüências destes eventos no futuro é que a sua freqüência no passado continuará a mesma no futuro. Na presença de mudanças no uso do

solo ou do clima, é claro que esta suposição (já mencionada acima, na discussão sobre regionalização) se torna inválida, por causa da não-estacionaridade as seqüências de dados; por exemplo, um enchente que no passado ocorreu com período do retorno 100 anos, em uma bacia extensivamente florestada, não ocorrerá com a mesma freqüência após desmatamento e a substituição da floresta por cultivos anuais. Portanto, a detecção de tendências em séries de vazão é importante para a gerência de recursos hídricos. O mesmo problema surge no contexto de planejamento urbano, se o crescimento urbano modifique as intensidades de precipitações intensas.

No contexto da estimação da freqüência de eventos extremos no futuro, é necessário o monitoramento cuidadoso de vazões extremas e de precipitações intensas, junto com o desenvolvimento de técnicas estatísticas apropriadas para a detecção de tendências nas séries. Nota-se que as técnicas de estatística elementar geralmente utilizadas na detecção de tendências são, na melhor das hipóteses, ineficientes, e na pior das hipóteses, incorretas. A presença da correlação serial entre os valores de uma seqüência hidrológica, ou uma correlação espacial entre vazões registradas em postos fluviométricos da mesma região, resulta na superestimação de tendências. Técnicas apropriadas para a detecção e estimação de tendências em seqüências hidrológicas de vazão e de precipitação têm sido publicadas recentemente (Clarke, 2001b,c,d), mas mais pesquisa é necessário, especialmente na inclusão dos efeitos da correlação espacial.

4. AS NECESSIDADES PARA ESTRUTURAS DE OBSERVAÇÃO E MONITORAMENTO FUTURO.

Nos próximos itens serão discutidas algumas medidas necessárias para aprimorar as estruturas já existentes no sentido de melhor atender a demanda atual e para que seja possível tomar ações que venham a atenuar impactos provocados pela variabilidade e mudança climática, incluindo os efeitos da urbanização.

4.1 Atividades necessárias para melhorar as estruturas já existentes.

As conclusões listadas na Seção 2.7 sugerem que várias atividades são necessárias para melhorar o conhecimento, na grande escala, dos recursos hídricos do Brasil. Um grande desafio será o aprimoramento das redes instrumentais, da freqüência da observação no caso de parâmetros que definem a qualidade química das águas, e das estruturas administrativas responsáveis para a coleta, controle de qualidade, e divulgação dos dados. O período necessário para implementação das mudanças necessárias é muito extenso, e envolve considerações e talvez redefinições das responsabilidades e interações entre os organismos municipais, estaduais e federais. Além da escala temporal, a escala espacial é também problemática em um país de tamanho continental das quais grandes áreas são difíceis de acesso.

Uma ação governamental urgente é o estabelecimento de um mecanismo integrador na área de meteorologia, semelhante ao que foi estabelecido para os recursos hídricos, com a implantação da ANA. Já existe uma proposta de criação de uma agência nacional de Meteorologia que visa a coordenação das atividades no setor. Esta proposta surgiu no âmbito da Sociedade Brasileira de Meteorologia e foi profundamente discutida por vários segmentos dos usuários dos serviços meteorológicos e por órgãos governamentais. Entretanto, a implementação das propostas ainda não foi efetivada. O resultado é que as iniciativas por parte de diferentes ministérios, em particular no Ministério da Agricultura e do Ministério da Ciência e Tecnologia não são harmônicas e levam a desperdício de recursos públicos.

É preciso pensar muito cuidadosamente como se pode usar uma quantidade restrita de financiamento pelo CTHIDRO, para maximizar o seu efeito. Será lógico definir alguns poucos estudos de grande importância, e para concentrar os esforços para maximizar o benefício para um dado custo. Para isto, é necessário definir os desafios principais que enfrentem o Brasil nos próximos 25-50 anos. As próximas seções apresentam as opiniões dos autores sobre estes desafios. As seções 3.3. e 3.4 identificam procedimentos que poderiam ser implementados quase imediatamente, se os dados que agora existem fossem liberados para análise. Estas análises são abordagens que procuram solucionar questões de grande importância para o Brasil.

4.2 Avaliação dos efeitos de mudanças climáticas nos recursos hídricos brasileiros.

Em geral, o país é bem dotado com recursos hídricos, mesmo que estes recursos não sejam bem distribuídos espacialmente. No entanto, as previsões do IPCC (“Intergovernmental Panel on Climate Change”) sugerem que a distribuição da precipitação no mundo poderia ser alterada em consequência das concentrações elevadas dos gases estufa, se estes continuarem a ser produzidos às taxas atuais e depositados na atmosfera. É cientificamente aceito que possam haver mudanças significativas nos regimes hidrológicos no Brasil, que poderiam afetar significativamente a distribuição espacial e temporal dos recursos hídricos. Além disto, o IPCC sugere que as mudanças climáticas que resultam do efeito estufa poderiam ser acompanhadas por maior frequência de eventos atmosféricos extremos, com maior incidência de temporais e enchentes.

Estas mudanças, se ocorrerem, terão importância altíssima para o Brasil, mas por enquanto o conhecimento do comportamento físico dos oceanos, da atmosfera e da interação entre eles não é suficientemente avançado para fazer previsões sobre a dimensão exata dessas mudanças, exatamente quando ocorrerão (se no início, meados ou final do presente século) e, sobretudo, os aspectos regionais de onde ocorrerão. As mudanças poderiam influenciar a produção energética, a produção agrícola, a água disponível para consumo humano e industrial, e o

transporte fluvial. Portanto é necessário monitorar cuidadosamente os regimes hidrológicos do Brasil, para detectar evidências de mudanças.

Duas possibilidades existem, envolvendo atividades fundamentadas na análise de dados. A primeira opção envolve uma análise estatística dos longos registros de precipitações diárias, e neste caso o ponto de partida é o conjunto de 163 estações pluviométricas com mais de 40 anos de dados, mencionadas na Seção 2.1 acima. A primeira etapa é a análise dos totais anuais e mensais, mas isto deve ser suplementada pela análise das ocorrências de precipitação diária, e as quantidades de chuva diária. O motivo é que tendências no regime de precipitação diária nem sempre são percebidas nos totais mensais (por exemplo, chuvas diárias mais intensas, separadas por maiores períodos sem chuva, poderiam resultar no mesmo total mensal; este fenômeno foi detectado no Pantanal). Para estas análises, não é essencial que os registros de precipitação diária sejam completos e sem falhas (e é preferível não preencher as falhas, porque a análise estatística pode ser ajustada na presença de falhas sem dificuldade). Mas é essencial que os pluviômetros sejam bem situados e livres de influências externas que possam introduzir tendenciosidade nos dados.

Uma segunda opção sugerida neste trabalho, e discutido mais amplamente em uma seção abaixo, é o estabelecimento de pequenas sub-bacias hidrográficas que seriam intensivamente instrumentadas com aparelhos de alto desempenho, mantidos cuidadosamente e diariamente. Estas bacias seriam mantidas em sua forma pristina e natural, facilitando a detecção de mudanças climáticas fora das influências que mascarariam os efeitos de maior interesse. As bacias também serviriam o duplo propósito do monitoramento de áreas de conservação proposto pelo IBAMA. Essas bacias preservadas também poderia ser usadas para estudos sobre funcionamento da biodiversidade e sua interação com o meio ambiente.

Uma outra opção que deve ser considerada refere-se ao uso de modelos climáticos acoplados aos modelos hidrológicos (preferencialmente os modelos hidrológicos distribuídos). É importante usar os cenários desenvolvidos pelo IPCC para alimentar modelos hidrológicos nos diversas bacias hidrográficas brasileiras. Também deve ser dada ênfase ao desenvolvimento da capacidade de modelagem ambiental usando modelos cujas diversas componentes do sistema sejam devidamente acopladas e validadas com base nas observações coletas nos experimentos de campo.

4.3 Avaliação dos efeitos do crescimento urbano no regime de precipitação.

A seção anterior discutiu-se sobre a necessidade de manter algumas sub-bacias no estado natural para monitoramento de mudanças. A maior parte da população brasileira mora em cidades, que continuam a apresentar crescimento alarmante. É bem conhecido que a urbanização modifica o clima por causa do efeito “ilha de calor” que faz com que as temperaturas máximas e mínimas anuais freqüentemente mostram tendências positivas com o crescimento da área

urbanizada. Mas além das mudanças nas temperaturas extremas, também existe a possibilidade de modificações ao regime de precipitação: o calor armazenado em prédios e ruas urbanas poderia causar convecção mais intensa e precipitação mais intensa e/ou mais freqüente, e a ocorrência de vendavais e granizo. As mudanças no regime de precipitação também podem ocorrer em função do impacto dos aerossóis e gases associados à poluição. Parte dos aerossóis de origem antropogênica exercem o importante papel de núcleos de condensação de nuvens. Outra parcela dos aerossóis funciona tem eficiente papel como núcleo de congelamento da água em nuvens. Os estudos sobre o impacto dos aerossóis na física da precipitação indica que o excesso de núcleos de condensação pode levar á formação de gotas de nuvens muito pequenas e diminuição de chuvas, sobretudo as precipitações mais leves. De fato, este efeito foi observado em São Paulo, onde a freqüência de chuvas leves diminuiu de forma estatisticamente significativa (Xavier et al 1992 e 1994). Por outro lado, a presença de mais núcleos de congelamento, pode levar a formação de nuvens mais profundas e portanto as chuvas intensas podem aumentar. Também foi observado em São Paulo um aumento das chuvas mais intensas, sobretudo no período de verão. E as chuvas intensas em áreas urbanas são uma das causas principais dos deslizamentos que causam mortes e danificações à infra-estrutura urbana.

As tendências na intensidade e ocorrência da precipitação em áreas de crescimento urbano poderiam ser estudadas a partir das análises da intensidade da chuva em períodos menores do que um dia. Mesmo quando estes dados existam, é difícil localizá-los e obter acesso para análises; e quando os dados são localizados, nem sempre são de uma forma que permite análise rápida por serem em fitas de papel não-digitalizadas. Aqui entra o papel fundamental que poderá ter o laboratório de recuperação de dados históricos do INMET, desde que haja um investimento significativo no processamento das informações.

4.4 Avaliação dos efeitos da mudança do uso do solo no regime de precipitação

Além da evidente mudança da composição química da atmosfera, a influência humana também ocorre através de alterações nas características físicas da superfície da Terra. As alterações induzidas pelo uso do solo podem ter significativas influências climáticas e os efeitos são ainda pouco conhecidos, como reconhecido nos levantamentos do IPCC. Em particular, é importante conhecer os efeitos das alterações do uso do solo no ciclo hidrológico e do carbono. Os casos específicos da Amazônia e do cerrado são de particular interesse no contexto regional e global, conforme discutido a seguir.

O ciclo hidrológico é o produto integrado do clima e de atributos biogeofísicos da superfície. O clima é determinante das características da superfície, pois atua no processo de formação do solo, do tipo e características da vegetação, das feições do relevo e da estrutura de drenagem. Ao mesmo tempo, a superfície exerce uma marcante influência sobre o clima, através de fatores i)

físicos, tais como relevo e características físicas do solo, ii) biológicos, no qual destaca-se a vegetação. Esse conjunto de fatores é determinante na interação entre a umidade atmosférica, a precipitação, o escoamento superficial e o balanço de energia na forma de calor latente e sensível. Pesquisas recentes da interação superfície-atmosfera sugerem uma forte dependência entre os processos de superfície e o clima (Shukla e Mintz, 1982; Sud et al., 1990; Nobre et al., 1991; Wood, 1994, Betts et al, 1996).

No Brasil, a Floresta Tropical Úmida é o ecossistema de maior biodiversidade e com intensas trocas de CO₂ e H₂O, ocupando uma área aproximada de 3.5x10⁶ km² na Amazônia Legal Brasileira. As áreas desmatadas na Amazônia somam hoje aproximadamente 15% do seu total, estando concentradas principalmente em Rondônia e no Pará. Grande parte dessa área é utilizada como pastagens. Azevedo e Adámoli (1988) relatam que as principais formas fisionômicas do Cerrado (Campo Cerrado, Cerrado Sensu Stricto e Cerradão) somam aproximadamente 1,39x10⁶ km². Medidas de evapotranspiração sobre estes ecossistemas mostram grande variabilidade (Tabela 1); o fato de as pastagens, e provavelmente a maior parte das formas de Cerrado, apresentarem redução significativa da evapotranspiração na estação seca resulta do estresse hídrico da camada herbácea. Adicionalmente, as regiões de Cerrado encontram-se em áreas do continente onde existe uma estação seca definida de Maio a Agosto, o que reforça a idéia da redução sazonal da fonte de umidade para a atmosfera.

Tabela 1: Evapotranspiração em alguns tipos de vegetação no Brasil, em mm dia⁻¹ (adaptado de Rocha e Silva Dias 1994)

| Ecossistema | Estação úmida | Estação seca |
|-----------------------------------|----------------------|---------------------|
| Floresta tropical úmida amazônica | 3.9 | 3.5 |
| Pastagem na Amazônia | 2.0 | 3.5 |
| Cerrado D.F | 4.2 | 2.1 |

Mudanças nos parâmetros (características da vegetação) e variáveis climáticas de superfície (tipo de cobertura, umidade do solo) alteram os fluxos de água e energia para a atmosfera. A absorção de energia solar na vegetação depende das dimensões do dossel e da fração de cobertura vegetal e solo nu. A temperatura de superfície é função da quantidade de energia disponível em todos os comprimentos de onda, e de como essa energia é fracionada em aquecimento (fluxo de calor sensível) e umedecimento (fluxo de calor latente ou evapotranspiração) do ar. Os dosséis altos e densos exercem um substancial arrasto aerodinâmico, reduzindo o vento próximo à superfície e gerando turbulência que estimula a transpiração, a evaporação da precipitação interceptada e a difusão turbulenta de vapor d'água na camada limite. A interação entre o tipo de solo e a vegetação é mais importante para a hidrologia, infiltração da precipitação e escoamento superficial ou de sub-base. Enquanto a vegetação controla grande parte da infiltração e da interceptação pelo dossel, o tipo de solo controla a taxa de retenção da água infiltrada, e também regula o total de água

disponível para ser extraído pelo sistema radicular da vegetação, o que em última instância determina a oferta hídrica.

Os resultados de modelagem do efeito do desmatamento completo da Amazônia, com substituição da vegetação nativa por pastagens revela, na maior parte dos experimentos, uma redução da precipitação da ordem de 20-30% e aumento de temperatura de 23°C (Silva Dias e Marengo, 1999). Entretanto, a modelagem de cenários mais reais, como o desmatamento ocorrido em Rondônia, em áreas de dimensão da ordem de muitas dezenas a poucas centenas de km, indicam um possível aumento de precipitação, associado ao fato de o contraste de temperatura floresta/pastagem gerar uma circulação local, do tipo brisa, que favorece a formação da precipitação sobre a pastagem em detrimento das chuvas na floresta, principalmente nas vizinhanças da fronteira pastagem/floresta (Silva Dias e Regnier 1996; Silva Dias et al. 2002b). Este último efeito pode ter um efeito realimentador no desmatamento por aumentar o risco de fogo. Estes resultados de modelagem numérica encontram suporte em observações (Cutrim et al. 1995)

Apesar da preocupação mundial e do aumento dos esforços internacionais para a conservação dos recursos naturais, as florestas tropicais continuam a desaparecer a taxas sem precedentes. No estabelecimento de sistemas de manejo e exploração sustentáveis para florestas tropicais, de vital importância são as questões relativas ao modo como uma intervenção antropogênica afeta as capacidades básicas de auto-renovação das florestas e como preservar processos ecológicos básicos tais como produtividade biológica e reciclagem de nutrientes e de água. Presume-se que a alteração dos ciclos de água, energia solar, carbono e nutrientes, resultantes da mudança da cobertura vegetal na Amazônia, possa acarretar conseqüências climáticas e ambientais em escalas local, regional e global. A conversão de florestas tropicais primárias para áreas agrícolas ou vegetação secundária representa uma das mais profundas mudanças no meio ambiente global da época atual. A fim de entender essas conseqüências e atenuar seus efeitos negativos, torna-se necessário um melhor conhecimento da interação tanto de florestas nativas, quanto de vegetações secundárias e de outras formas de usos da terra com a atmosfera.

O entendimento dos processos físicos e químicos associados às trocas de energia, água e carbono entre as florestas tropicais e a atmosfera constitui um enorme desafio para a comunidade científica. O Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia - LBA é uma iniciativa internacional de pesquisa liderada pelo Brasil em resposta a este desafio. O LBA está planejado para gerar novos conhecimentos, necessários à compreensão do funcionamento climatológico, ecológico, biogeoquímico e hidrológico da Amazônia, do impacto das mudanças dos usos da terra nesse funcionamento, e das interações entre a Amazônia e o sistema biogeofísico global da Terra (Nobre et al, 1996). Entretanto, é preciso estender o trabalho hoje realizado no âmbito do LBA na região amazônica para outros ecossistemas brasileiros, em particular o cerrado onde ocorre grande pressão antropogênica no sentido de alterar o uso do solo através da agricultura.

4.5 Estudos de longo prazo em bacias protegidas para conhecer melhor os fatores que influenciam a composição físico-química da água nos sistemas hídricos brasileiros, e a sua estrutura biológica.

Qualquer rio, várzea, lago ou volume extenso de água subterrânea é um sistema muito complexo cujo estado em cada instante é uma consequência das ações e interações entre um número enorme de fatores. A precipitação e a demanda evaporativa da atmosfera são os fatores primários que influenciam a quantidade da água; as interações entre a água, a atmosfera, e a matriz sólida (leito de um rio; partículas em suspensão; o solo pelo qual a água percola; as rochas de um aquífero; ...) influenciam a composição físico-química. Tanto a quantidade de água como a composição físico-química (pH; temperatura; oxigênio dissolvido; nutrientes; iluminação pela luz do sol etc.) influenciam a estrutura e função das comunidades biológicas, compreendendo o plâncton (fitoplâncton, zooplâncton e bacterioplâncton), os organismos bentônicos, entre os quais se destacam, além de fungos e bactérias, muitos insetos e outros invertebrados, as macrófitas aquáticas que fornecem alimentação e abrigo para inúmeras espécies de invertebrados, e os vertebrados (peixes, anfíbios, pássaros, mamíferos) que representam o topo da pirâmide alimentar. As interações e retroações são altamente complexas, e a complexidade é aumentada ainda mais pela mobilidade tanto da água como das populações que dela dependem.

Um exemplo que ilustra a complexidade do sistema é o seguinte: na sua fase de reprodução, algumas espécies de peixes migratórios retornam, depois de migrações de duração entre 3 e 6 anos, para depositar seus ovos nos cascalhos das mesmas cabeceiras onde nasceram. Assim, um só temporal que perturbe muito estes cascalhos e assim destrua muitos ovos, influencia (i) a densidade populacional da espécie nos anos seguintes; (ii) o número de peixes que voltam depois da migração para depositar ovos; (iii) outras espécies que se alimentam dos peixes migratórios, não necessariamente apenas nas cabeceiras. E este exemplo não menciona os efeitos das influências humanas em termos de poluição, agricultura intensiva e exploração das populações de peixes e/ou outras espécies. A interação entre a qualidade da água e as comunidades biológicas permite desenvolver métodos de indicação biológica da qualidade da água (bioindicadores), sob a forma de índices de diversidade biótica, presença/ausência de organismos-chave etc., que em determinadas circunstâncias podem ser mais eficientes e econômicos que os métodos físico-químicos tradicionais.

No planejamento e operação dos recursos hídricos, é frequentemente necessário fazer previsões sobre as consequências de um proposto desenvolvimento; a hidrovía do Alto Paraguai é um exemplo, a construção de reservatórios hidrelétricos é um outro. Para fazer estas previsões em termos quantitativos, e não em termos de adivinhações indefinidas, é necessário um bom conhecimento dos efeitos da multiplicidade de interações entre os aspectos físicos, químicos e biológicos do sistema. Este conhecimento somente resulta a partir de estudos detalhados, de longo prazo, por equipes multidisciplinares, em

locais mantidos afastados das influências que resultam da urbanização e outros tipos de desenvolvimento. A hipótese aqui proposta é que não se podem fazer previsões sobre como um determinado ecossistema aquático responderá a novos fatores exteriores, antes de entender como o mesmo funciona em condições naturais. Atualmente, no Brasil, existem poucos grupos interdisciplinares de cientistas que trabalham a longo prazo (trinta anos ou mais), em um bioma específico. Um deles está no Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), em Manaus, com experiência na ecologia dos lagos de várzea e de igarapés florestais. O programa LBA é um bom exemplo de estudo integrador com forte componente física, associadas aos aspectos climáticos e hidrológicos e outra componente relacionada com o balanço de carbono nos ecossistemas amazônicos, além de uma recente componente de dimensões humanas, voltada para o entendimento da dinâmica do desmatamento e dos impactos sociais produzidos pelas alterações ambientais regionais. Outros grupos multidisciplinares incluem a Universidade Federal de São Carlos e a USP – Campus de São Carlos, com experiência no sistema do Rio Tietê; o CENA/USP no Rio Piracicaba e em Rondônia, a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, com estudos do Sistema Hidrológico do Taim, no âmbito do Programa Integrado de Ecologia – Pesquisas Ecológicas de Longo Prazo – PELD, do CNPq; e o Núcleo de Pesquisas em Limnologia, Ictiologia e Aqüicultura – NUPELIA, da Universidade Estadual de Maringá, com grupo bem consolidado, atuando em afluentes do Rio Paraná e suas planícies de inundação; este grupo tem atuado no Reservatório de Itaipu.

A proposta deste documento é de estabelecer, dentro de cada bioma principal, um ou preferivelmente dois locais – pequenas sub-bacias, áreas de várzea, setores de reservatórios, conforme a natureza do bioma – a serem mantidos invioláveis, e devotados à pesquisa para elucidar a complexidade das interações entre os fatores físicos, químicos e biológicos. Estes locais (“benchmark locais”) seriam preservados por um tempo de vinte anos ou mais, e seriam usados adicionalmente (a) para monitorar os efeitos de mudanças climáticas; (b) para funcionar como laboratórios a céu aberto; (c) para fornecer dados da alta qualidade para fundamentar modelos quantitativos dos processos físicos, químicos e (eventualmente) biológicos e ecológicos.

O caso específico do Cerrado merece uma atenção especial. É no Cerrado onde ocorreram e deverão ocorrer as maiores alterações ambientais em função da expansão da fronteira agrícola. Certamente haverá uma enorme pressão para aumento da produção agrícola nos próximos 10-30 anos. Algumas estimativas conservadoras, baseadas em taxas de crescimento de exportação em níveis baixos, indicam aumento de 30-40% nos próximos 10 anos. A questão que se coloca aqui é a seguinte: como este aumento será obtido? Através do aumento da área utilizada pela agricultura? Ou com o aumento da produtividade? Em ambos cenários deverá haver significativo impacto nos ecossistemas naturais e no ciclo hidrológico da região. Algumas perguntas de fundamental importância são:

- Quais são os impactos ambientais

- no solo

- nas água subterrânea
- nas águas superficiais
- nas emissões de gases traço pelas atividades agropecuárias (óxidos de nitrogênio, ozônio, metano e outros hidrocarbonetos,...)
- nas emissão de aerossóis (biogênicos, solo, queimadas)
- no clima regional (mudança do uso do solo, efeito dos aerossóis/gases na estrutura microfísica das nuvens e precipitação, balanço de energia)

É fundamental dar início a estudos de riscos sobre o impacto da variabilidade e mudança climática no funcionamento dos recursos hídricos nas regiões onde a agricultura deverá passar por grande expansão nos próximos anos. Também é importante que haja um maior investimento em pesquisas que indiquem caminhos sustentáveis para esse modelo de crescimento agrícola, indicando possíveis medidas de políticas públicas que sejam necessárias para preservar a os sistemas naturais em níveis compatíveis com a sustentabilidade dos sistema econômico e social.

A complexidade do sistema físico-químico-biológico é enorme. Portanto, é necessário começar com estudos intensivos das partes que são mais simples de elucidar. Estas partes são os componentes físicos do sistema, que envolve aspectos do ciclo hidrológico e das variáveis conservativas a ele vinculadas, especialmente transporte e deposição de sedimentos. Especificamente, o trabalho inicial (“Fase A”) em cada “benchmark local” consistiria das seguintes atividades:

- Planejamento e extensão das redes para a medição da precipitação (inclusive a medição da intensidade da chuva por instrumentos com memória digital) e de outros parâmetros meteorológicos como temperatura, umidade, ventos e pressão atmosférica;
- Atualização e manutenção contínua da curva-chave, instalação do novos postos para a medição das cotas e das vazões dentro do sistema;
- Instalação de equipamentos para a estimacão da evaporação potencial e atual, e para a medição da evaporação atual a partir do método de fluxo turbulento de umidade e de carbono (já que o entendimento da evapotranspiração passa pela dinâmica da vegetação);
- Medidas de umidade do solo a diversas profundidades;
- Medição no campo das curvas que descrevem o comportamento da água no solo (curva que relaciona umidade no solo com a tensão, e a curva que relaciona umidade do solo com a condutividade não-saturada);
- Estudos sobre a taxa do transporte de água fora da zona das raízes até os aquíferos;

- Estudos sobre a erosividade da precipitação, sobre o transporte superficial de sedimentos, e sobre o transporte e deposição de sedimentos nos trechos dos rios;
- (Muito importante) revisão regular (trimestral?) dos dados coletados, preparação de um relatório para divulgação na internet;
- (Muito importante) utilização dos dados para desenvolver modelos do comportamento hidrológico-sedimentológico de cada “benchmark local”.

A “Fase B” do trabalho em cada “benchmark local” juntaria aspectos químicos com os aspectos físicos da Fase A, e também poderia ser conduzida em paralelo com ela, uma vez que se tomem decisões sobre os seguintes tópicos:

- A frequência e o método utilizado para coletar amostras de água;
- As variáveis mais apropriadas para a quantificação da qualidade química da água;
- As técnicas analíticas a serem utilizadas nos laboratórios na determinação destas variáveis;
- Comparações entre laboratórios de modo que os padrões de qualidade de água em diferentes “benchmark locais” sejam comparáveis;
- Planejamento da rede de locais nos quais pretende-se coletar amostras de água;
- Concordância sobre os métodos a serem usados para interpolação da qualidade de água nos locais onde amostras não podem ser coletadas; e, talvez, desenvolver estes métodos se não existirem métodos satisfatórios.

A “Fase C” do trabalho em cada “benchmark local” desenvolveria os estudos biológicos necessários para responder às perguntas do tipo “O que vai acontecer se...?” (“What if...?”) no contexto biológico-ecológico, e para estender a capacidade dos modelos físico-químicos. O trabalho, que cobre uma gama enorme, poderia ser desenvolvido em paralelo com os trabalhos das Fases A e B, necessitando atenção aos seguintes tópicos (entre muitos outros):

- Conhecimento do ciclo de vida das espécies principais do fitoplâncton e zooplâncton, de invertebrados, de vertebrados e de macrófitas aquáticas, incluindo reprodução e as influências de fatores físicos (temperatura, luz, concentração de sólidos em suspensão etc.) e químicos (pH, oxigênio dissolvido, N, P, metais pesados etc.) sobre a reprodução;

- Estudos da dinâmica populacional de cada espécie de importância na cadeia alimentar;
- Estudos das interações presa-predador entre populações, e dos efeitos de fatores físicos e químicos sobre estas interações; estudos de preferência alimentar das espécies;
- Estudos da estrutura de comunidades de invertebrados bentônicos, de peixes etc., em função da qualidade da água e dos impactos de atividades antrópicas sobre a qualidade, com vistas a estabelecer bioindicadores para monitorar a qualidade da água.

4.6 Integração com trabalhos já em andamento.

Alguns locais já existem que são “laboratórios a céu aberto” para universidades e centros de pesquisa, e que possivelmente poderiam ser incorporados no quadro aqui proposto. As vantagens disto são óbvias (já existe infra-estrutura, redes básicas de observação, transporte, ...) mas ao mesmo tempo é preciso evitar expediência e se lembrar que os “benchmark locais” seriam planejados para monitorar sistemas naturais que não serão afetados por fatores humanos (urbanização, mudança extensa no uso do solo,...) nos vinte ou mais anos necessários para monitoramento de longo prazo. Cabe lembrar aqui o programa do CNPq denominado Pesquisas Ecológicas de Longa Duração – PELD, com diversos sítios de pesquisas já selecionados no Brasil, dos quais foi mencionado acima o Sistema Hidrológico do Taim, mas que envolve também outros sítios com predominância de sistemas hídricos como o Pantanal Sul, o Pantanal Norte, o Sistema Lacustre do Médio Rio Doce, as Restingas e Lagoas Costeiras do Norte Fluminense, a Planície de Inundação do Alto Rio Paraná, e o Estuário da Lagoa dos Patos e Costa Adjacente (mais informações no endereço eletrônico <http://www.icb.ufmg.br/~peld/home.html>).

5. RECOMENDAÇÕES PRIORIZADAS.

No decorrer desse trabalho foram enumeradas diversas ações fundamentais para contribuir para o aprimoramento da capacidade observacional dos sistemas hídricos no Brasil, dando ênfase ao fato de haverem enormes diferenças regionais no funcionamento dos sistemas hídricos. Também foi enfatizada a necessidade de estudos sobre a influência antrópica, sobretudo em função do avanço da agricultura moderna, de alta eficiência e que coloca uma demanda extra nos recursos hídricos. Particular atenção foi dada ao fato de a influência antrópica ocorrer de forma particularmente intensa e concentrada nos grandes centros urbanos.

Alguns tópicos que requerem especial atenção são:

- São necessários melhores modelos (i.e., modelos chuva-vazão distribuídos) de previsão para o setor energético;
- Extensão destes modelos para incluir previsões e simulações da precipitação e da evaporação;
- Estabelecimento de bacias "benchmark" para monitoramento de mudanças no regime hidrológico, e para melhorar o conhecimento dos sistemas naturais (interações entre processos físicos-químicos-biológicos);
- Desenvolvimento de sistemas de observação e modelagem do transporte de sedimentos, e do assoreamento dos reservatórios;
- Formação de uma base de dados que unifique os dados meteorológicos, da água da superfície, e da água subterrânea.

6. REFERÊNCIAS

Allasia, Daniel, 2002. Impacto das incertezas no custo de uma rede de macrodrenagem. Dissertação de mestrado, IPH, UFRGS. Porto Alegre Brasil.

Azevedo, L.G., J. Adámoli, 1988. Avaliação agroecológica dos recursos naturais da região de Cerrados. In: Simpósio sobre o Cerrado, 6, Brasília, EMBRAPA/CPAC, 729-761.

Betts, A. K., J. H. Ball, A. C. M. Beljaars, M. J. Miller and P. Viterbo, 1994: Coupling between land-surface, boundary-layer parameterizations and rainfall on local and regional scales: lessons from the wet summer of 1993. Fifth Conference on Global Change Studies: Amer. Meteor. Soc., 74th Annual meeting, Nashville, Tenn., Jan 23-28.

Beven K J, Lamb R, Quinn P, Romanowicz R, Freer J. 1995. TOPMODEL. In: Singh, V P. (editor) *Computer models of watershed hydrology* (Water Resources Publications, Highlands Ranch, CO, USA. 1130p

Boyle, D P, Gupta H V, Sorooshian S. 2000 Toward improved calibration of hydrologic models: combining the strengths of manual and automatic methods. *Water Resour. Res.* 36(12) p3663-74.

Clarke R T. 2002a. Frequencies of Future Extreme Events Under Conditions of Changing Hydrologic Regime. *Geophys. Research Letters* (aceito para publicação)

- Clarke R T, 2002b. Estimating Trends in Data from the Weibull and a GEV Distribution. *Water Resources Research*, June 2002.
- Clarke R T 2002c. Estimating Time Trends in Gumbel-Distributed Data by means of Generalized Linear Models. *Water Resources Research*, July 2002.
- Clarke R T. 2002d. Fitting and testing the significance of linear trends in Gumbel-distributed data. *Hydrology and Earth System Sciences* 6(1) 17-24.
- Clarke R T. 2001. Separation of year and site effects by generalized linear models in regionalization of annual floods. *Water Resources Research*, Vol37, No. 4, pp 979-986.
- Coe R, Stern R D. 1982. Fitting models to daily rainfall. *J. Appl. Meteorol.* 21, 1024-31.
- Collischonn W 2001. Simulação hidrológica de grandes bacias. Tese de doutorado, IPH-UFRGS p 194.
- Collischonn, W. e C. E. M. Tucci, 2001: Simulação hidrológica de grandes bacias. RBRH, v6, 1, 95-118.
- Cutrim, E., D. Martin, R. Rabin, 1995: Enhancement of cumulus clouds over deforested lands in Amazonia. *Bull. Amer. Met. Soc.*, 76, 1801-1805.
- Gupta H, Sorooshian S, Yapo P O 1998. Toward improved calibration of hydrologic models: multiple and noncommensurable measures of information. *Water Resour. Res.* 34(4) p751-63.
- McCullagh P, Nelder J A 1989. *Generalized Linear Models* (2^a edição). Chapman & Hall, Londres.
- Nobre P. and J. Shukla 1996: Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the Tropical Atlantic and South America. *J. Climate*, 9, 2464-2479.
- Nobre, C. A., J.C. Gash, R. Hutjes, D. Jacob, A. Janetos, P. Kabat, M. Keller, J. Marengo, J. R. McNeal, P. Sellers, D. Wickland, S. Wofsy, 1996: *The Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia (LBA)*. Concise Experimental Plan. Compiled by the LBA Science Planning Group. Staring Center-DLO, Wageningen, The Netherlands.
- Passerat de Silans, A. M. B; Almeida, C. N., Albuquerque, D. J. S.; Paiva, A. E. D. B 2000 Aplicação do modelo hidrológico distribuído AÇUMOD à bacia hidrográfica do rio do Peixe – Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Vol. 5 No. 3.

- Rocha, R. da Rocha and P. L. Silva Dias, 1994: The Energy Balance in Central-Northeast Brazil and the Meteorological Systems. *An.Acad.Bras.Ci.*, 66 (Supl. 1), 101-108.
- Shukla, J., Mintz, Y., 1982. Influence of land surface evapotranspiration on the earth's climate, *Science*, 215, 1498-1501.
- Shuttleworth, W. J. 1988. Evaporation from amazonian rain forest. *Proc. Roy. Met. Soc. B*, 233: 321-346.
- Silva Dias, M. A. F. and P. Regnier 1995. Simulation of mesoscale circulation in deforested areas of Rondonia in the dry season. In Amazon Deforestation and Climate, eds. J.C.H. Gash, C.A. Nobre, J.M. Roberts and R. Victória. John Wiley & Sons, Chichester, UK, p. 531-548.
- Silva Dias, P.L. e J. Marengo, 1999: Águas Doces do Brasil: Águas Atmosféricas, Capital Ecológico, Uso e Conservação. Editado por A.Rebouças, B. Braga e J. Tundizi. Instituto de Estudos Avançados e Academia Brasileira de Ciências, pp 65-115.
- Silva Dias, M.A., S. Rutledge, P. Kabat, P.L. Silva Dias, C.A. Nobre, G. Fisch, A.J. Dolman, E. Zipser, M. Garstang, A. Manzi, J.D. Fuentes, H. Rocha, J. Marengo, A. Plana-Fattori, L. Sá, R. C. Alvala, M.O. Andrea, P. Artaxo, R. Gielow, L. Gatti, 2002a: Cloud and rain processes in a biosphere atmosphere interaction context in the Amazon region. In press for Publication in *J.Geophys.Res.*.
- Silva Dias, M.A.F., W. Pettersen, P.L. Silva Dias, R. Cifeli, A.K. Betts, M. Longo, A.M Gomes, G.F. Fish, M. A.Lima, M.A. Antônio, R.I. Albrecht, 2002b: A case study of convective organization in precipitating lines in the Southwest Amazon during the WETAMC and TRMM LBA. Accepted for publication in the *J. Geophys. Res.*
- Silveira, André L. Lopes da, 1997. Provável efeito urbano nas relações IDF das chuvas de Porto Alegre. *Revista Brasileira de Engenharia*, vol. 2, nro. 2.
- Sud, Y.C., Sellers, P.J., Chow, P., Walker, G.K., Smith, W.E., 1990. Influence of the biosphere on the global circulation and hydrological cycle - A GCM simulation experiment. *Agric. For. Met.*, 52. 133-188.
- Sorooshian S, Gupta V K. 1995. *Model calibration*. In: Singh, V J (Editor): *Computer models of watershed hydrology* (Water Resources Publications, Highlands Ranch, CO, USA. 1130p
- Sorooshian S, Gupta H V, Bastidas L A 1998. *Calibration of hydrologic models using multi-objectives and visualization techniques*. Final Report EAR 9418147. Dep. Hydrology & Water resources, University of Arizona 78p.

- Stern R D, Coe R. 1984. A model fitting analysis to daily rainfall. *J. R. Statist. Soc.*, A 147, 1-34.
- Tucci C E M 1998. *Modelos hidrológicos*. ABRH Editora da UFRGS. Porto Alegre 669p
- Tucci C E M 1991. *Regionalização de vazões do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: IPH-UFRGS.
- Villanueva, A. O. N, and C. E. M. Tucci. 2001. Simulação De Alternativas De Controle Para Planos Diretores De Drenagem Urbana. Em: Soluções para a Drenagem Urbana em Países da América Latina, SEMINÁRIO DE DRENAGEM URBANA DO MERCOSUL - V SEMINÁRIO NACIONAL DE DRENAGEM URBANA, Porto Alegre, 2001, Porto Alegre: Editora ABRH.
- Wood E F, Lettenmaier D P, Zartarian V G. 1992 A land surface hydrology parameterization with subgrid variability for general circulation models. *J. Geophys. Res.*, 97(D3) p2717-28.
- Wood, E.F. 1994. Scaling, soil moisture and evapotranspiration in runoff models. *Adv. Water Res.* ,17. 25-34.
- Xavier, T. M.B.S., M.A.F. Silva Dias e A.F.S. Xavier, 1992: Tendências da Pluviometria na Grande São Paulo e a Influência dos Processos de Urbanização e Industrialização. *Anais, VII Congresso Brasileiro de Meteorologia*, V1, 220-224.
- Xavier, T.M.B.S , A.F.S.Xavier e M.A.F.Silva Dias, 1994: Evolução da Precipitação Diária num Ambiente urbano: O Caso da Cidade de São Paulo. *Rev. Brasileira de Meteorologia*, Vol. 9, 44- 53.
- Xavier, T.M.B.S., A.F.Xavier, P.L. Silva Dias e M.A.F.Silva Dias, 2000: A zona de convergência intertropical - ZCIT e suas relações com a chuva no Ceará (1964-98). *Rev. Bras. de Meteorologia*, 15,1, 27-43.