DIRETRIZES PARA ELABORAÇÃO DO PLANO DIRETOR DE CONTROLE DE INUNDAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DE RESERVATÓRIOS PARA O BAIXO CURSO DO RIO PARAÍBA

Cícero Aurélio Grangeiro Lima[1]

RESUMO – As características climáticas da região Semi-árida têm trazido, ao longo dos anos, a preocupação com o gerenciamento dos recursos hídricos, principalmente ou exclusivamente, sob o ponto de vista da escassez desses recursos. Entretanto, em virtude das fortes chuvas que atingiram a região Nordeste no ano de 2004, suscitaram uma nova concepção, particularmente na Paraíba, em relação à definição de uma política de gerenciamento em áreas sujeitas as inundações. As inundações foram observadas em diversas cidades do Estado, principalmente naquelas margeadas ou cortadas por importantes rios, principalmente, na bacia do Rio Mamanguape e na região do Baixo Curso do Rio Paraíba. Neste resumo, apresenta-se uma proposta para a elaboração de um plano diretor para o controle de inundação e usos múltiplos de reservatórios, com aplicação no Baixo Curso do Rio Paraíba. Os resultados demonstraram o plano proposto é um eficiente instrumento de gestão de áreas sujeito as inundações, não somente pela minimização dos riscos, mas também, pelo desenvolvimento econômico que o mesmo proporcionaria as áreas circunvizinhas aos reservatórios destinados ao controle de cheia, através do uso da água para atendimento as demandas reprimidas da região, particularmente, do Agreste e do Litoral do Estado.

ABSTRACT – The climatic characteristics of Semi-arid area have been bringing, along the years, concern about the management of the water resources, mainly or exclusively, under the point of view of the shortage of those resources. However, because of the strong rainfalls in that reached the Northeast area in the year of 2004, they raised a new conception regarding the definition of an management policies in areas subject to floods. The floods affected several cities of Paraíba, mainly those bordered or cut by important rivers, especially, in the basin of the Mamanguape and Paraíba Rivers. This paper proposes from the elaboration of a master plan for the flood control and multiple uses of the reservoirs. The results with application to the Paraíba River suggested that the methodology is an important instrument for water resources in subject areas to floods, not only for minimization of the risks, but also, for the economical development that it would provide to adjacent areas to the reservoirs destined to the flood control, through the use of the water for other demands of the regions, particularly, Agreste and Litoral of the state.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica, área de risco, ocupação do solo.

[1] *Doutor em Recursos Naturais. Especialista em Infraestrutura Sênior – Ministério da Integração Nacional. Rua 36 Sul, Lote 13. Ed. Pavanelli 2, apartamento 303, Águas Claras. CEP: 71.930-360, Brasília, DF. e-mail: ciceroglima@hotmail.com.*

INTRODUÇÃO

As inundações são decorrentes de precipitações intensas das quais a quantidade de escoamento direto que afluem a um determinado curso d'água é superior a sua capacidade de drenagem, causando transbordamento para as áreas ribeirinhas. Os efeitos desastrosos decorrentes das inundações dependem do grau de ocupação dessas áreas e da frequência com as mesmas ocorrem. Segundo Tucci (1999), as enchentes em áreas urbanas são causadas por dois processos, que podem ocorrer de forma isolada ou de forma integrada: *enchentes naturais em área ribeirinhas*, no qual o rio ocupa o seu leito maior e as *enchentes devido à urbanização*, decorrentes da ocupação do solo. O desenvolvimento desordenado dos centros urbanos pode ser observado sob dois aspectos, com efeitos igualmente danosos a população: por um lado, a ocupação das várzeas, através de ações de aterros e desmatamentos, causando erosão das margens e assoreamento do leito natural dos cursos d'água, reduzindo assim, o espaço natural para a passagem das cheias. Por outro lado, as ações no âmbito do espaço urbano, principalmente pela impermeabilização dos solos que causa a redução da taxa de infiltração, trazendo como consequência o aumento da velocidade de escoamento superficial, gerando um aumento das vazões de cheia. A nova visão sobre gerenciamento de recursos hídricos envolve o planejamento integrado de água no âmbito da drenagem urbana, incorporada ao Plano de Desenvolvimento Urbano, onde outros segmentos são adicionados na busca da solução ideal: transporte, abastecimento de água e saneamento, drenagem urbana e controle de inundações, resíduo sólido e controle ambiental.

Na Paraíba, a preocupação, ao longo dos anos, no que se refere ao gerenciamento dos recursos hídricos tem sido voltada para o ponto de vista da escassez desses recursos e as ações têm se referido a programas de mitigação dos efeitos da seca. Entretanto, com a ocorrência de precipitações intensas no ano de 2004 no Estado, suscitou uma nova concepção em relação à definição de uma política de gerenciamento em áreas sujeitas às inundações. Naquele ano, as bacias hidrográficas com maior número de municípios atingidos por inundações foram: Bacia do Rio Mamanguape e a região do Baixo Curso do Rio Paraíba. Nestas foram registrados: 14 municípios atingidos, cerca de 1.500 famílias desabrigadas, 7 vítimas fatais e um grande prejuízo material. Vale ressaltar que nenhum dos municípios atingidos pelas inundações tem sequer um plano diretor.

Dentro deste contexto, o estudo de cheia e controle de inundações será um importante instrumento norteador para os gestores, na formulação de uma política de gerenciamento sustentável e integrado para as áreas ribeirinhas e de risco e na elaboração de um plano de desenvolvimento urbano. O objetivo deste estudo foi identificar e mapear essas áreas e propor medidas (estruturais e não estruturais) para a mitigação dos efeitos desastrosos causadas pelas

inundações. Neste artigo, apresenta-se um resumo da proposta para elaboração Plano Diretor para o Controle de Inundações das áreas de risco no Estado, com ênfase nas medidas estruturais (reservatórios para o controle de cheia) aplicadas à região do Baixo Curso do Rio Paraíba e nos usos múltiplos de reservatórios destinados ao controle de cheia. Os resultados, ainda que parciais, demonstraram que a metodologia proposta apresenta-se como uma importante ferramenta de gestão de recursos e de desenvolvimento socioeconômico de áreas atingidas por inundação, particularmente, para as regiões do Agreste e do Litoral da Paraíba.

MEDIDAS PARA O CONTROLE DE INUNDAÇÃO

Uma série de medidas de controle pode ser adotada para a prevenção dos problemas advindos de enchentes urbanas. O enfoque dado neste artigo diz respeito a duas situações claras que agravam o problema das enchentes: (i) *em áreas ribeirinhas*, decorrentes do processo natural do aumento da vazão dos rios durante os períodos secos e chuvosos. As inundações nessas áreas podem ser ampliadas ou terem maiores efeitos em função da ação do homem, principalmente, pela ocupação indevida das planícies de inundação por parte da população, normalmente de baixo poder aquisitivo; (ii) *na drenagem urbana*, decorrentes do escoamento em áreas urbanizadas, geralmente pequenas bacias, onde a impermeabilização e a canalização aumentam significativamente a vazão de escoamento. Nos municípios inseridos na área de estudo, em praticamente todas as sedes municipais atingidas por inundação, os sistemas de drenagem urbana são precários ou simplesmente inexistem.

O controle superficial direto é feito por sistema de drenagem, tanto no âmbito das áreas ribeirinhas quanto na drenagem urbana, composto por dois tipos de intervenções: medidas *estruturais* e medidas *não estruturais*, sendo que as duas se complementam.

Medidas Estruturais

As medidas estruturais são constituídas por medidas físicas de engenharia destinadas a desviar, deter, reduzir ou aumentar o escoamento superficial direto, com vistas a evitar ou minimizar os danos e interrupções de atividades em decorrência das inundações. Estas medidas podem ser *extensivas* ou *intensivas*. As medidas *extensivas* são aquelas que agem na bacia, procurando modificar as relações entre precipitação e vazão, como a alteração da cobertura vegetal do solo, que reduz e retarda os picos de enchentes e controla a erosão da bacia. As medidas *intensivas* são aquelas que agem diretamente sobre o rio e podem produzir os seguintes efeitos sobre o escoamento:

- acelerar o escoamento, através de construções de diques, polders e corte de meandros, resultando no aumento da capacidade de descarga dos rios;

- retardar o escoamento, através da construção de reservatórios e de bacias de amortecimento; e

- desviar do escoamento, através da construção de obras como canais e desvios de cursos d'água.

Vale ressaltar que as medidas estruturais, na maioria das situações, não são projetadas para a proteção completa devido à inviabilidade física e econômica, quando se considera a maior enchente possível na região. Por isso, elas podem criar uma falsa sensação de segurança e induzir os órgãos gestores a conceder permissão para a ampliação da ocupação das áreas de risco, que futuramente poderão resultar em danos significativos para as populações nelas residentes.

Medidas Não Estruturais

As medidas não estruturais são propostas de ações de convivência com enchentes do rio objetivando minimizar os impactos e danos decorrentes dos efeitos das chuvas intensas na região. Essas medidas, associadas ou não as medidas estruturais, podem minimizar significativamente os prejuízos com um custo menor. Segundo Barros (2005), são exemplos de medidas de controle não estruturais de cheias urbanas: outorga para controle de cheias, leis de uso e ocupação do solo, fixação de critérios para projetos de drenagem e obras de infraestrutura, medidas de controle de cheias no próprio lote ou medidas individuais e de convivência, restabelecimento parcial da capacidade de retenção de água do lote, seguro enchente, sistema de alerta, programas de educação ambiental e campanhas publicitárias voltadas à participação pública no controle de cheias. Entretanto, a solução ideal deve ser definida para cada caso em função das características do curso d'água, do benefício da redução das enchentes e dos aspectos sociais de seu impacto. Certamente, para cada situação, medidas estruturais e não estruturais podem ser combinadas na busca da melhor solução. De qualquer forma, o processo de controle inicia pela regulamentação do uso e ocupação do solo urbano, através de um Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano que contemple as áreas sujeitas a enchentes. Entretanto, a maioria dos municípios da região estudada, com área de risco de inundação, não dispõe sequer de um Plano Diretor.

Áreas Ribeirinhas

As medidas mitigadoras das inundações em áreas ribeirinhas podem ser *estruturais* ou *não estruturais*, ou combinação entre elas. Neste artigo foram abordadas somente as medidas estruturais propostas pelo Plano de Controle de Inundações, com ênfase na implantação de reservatórios para o controle de cheia no Baixo Curso do Rio Paraíba.

Áreas urbanas

De acordo com a ação exercida sobre a bacia hidrográfica, as medidas de controle do escoamento em áreas urbanas podem ser classificadas como: *Distribuída ou na fonte*, tipo de controle que atua sobre o lote, praças, passeios, etc.; *na microdrenagem,* que corresponde ao controle que age sobre o hidrograma resultante de um ou mais loteamentos; e n*a macrodrenagem,* controle sobre os principais cursos d'água urbanos. As medidas de controle de inundação em áreas urbanas podem ser organizadas em:

- **infiltração e percolação**: normalmente, cria-se espaço para que a água tenha maior infiltração e percolação no solo, utilizando o armazenamento e o fluxo subterrâneo para retardar o escoamento superficial;

- **armazenamento**: através da construção de reservatórios, que podem ser de tamanho adequado para uso numa residência ou terem porte para a macrodrenagem urbana. O efeito do reservatório urbano é o de reter parte do volume do escoamento superficial, reduzindo o pico de enchente, distribuindo a vazão no tempo;

- **aumento da eficiência do escoamento**: através de condutos e canais, drenando áreas inundadas. Esse tipo de solução tende a transferir enchentes de uma área para outra, mas pode ser benéfico quando utilizado em conjunto com reservatórios de detenção; e

- **diques e estações de bombeamento**: solução tradicional de controle localizado de enchentes em áreas urbanas que não possuam espaço para amortecimento da inundação.

O acréscimo de superfícies impermeáveis e de canalizações decorrentes do desenvolvimento urbano causa impactos significativos no aumento da vazão máxima e no volume de escoamento superficial, implicando no aumento das seções e dos custos dos dispositivos para transportá-la, e, normalmente transfere o problema para as áreas a jusante. Uma das ações para reduzir estes custos e

minimizar os impactos a jusante é permitir maior infiltração da precipitação, criando condições mais próximas possíveis às condições naturais. As principais medidas de *controle na fonte* são: aumento de áreas de infiltração e percolação e o armazenamento temporário em reservatórios residenciais. As vantagens e desvantagens desses dispositivos são (Urbonas e Stahre, 1993):

- *vantagens*: aumento da recarga, redução de ocupação em áreas com lençol freático baixo, preservação da vegetação natural, redução da poluição transportada para os rios, redução das vazões máximas à jusante e redução do tamanho dos condutos; e

- *desvantagens*: os solos de algumas áreas podem ficar impermeáveis com o tempo, falta de manutenção e aumento do nível do lençol freático, atingindo construções em subsolo.

A medida de controle de escoamento *na microdrenagem* tradicionalmente utilizada consiste em drenar a área urbanizada, através de condutos pluviais, até um coletor principal ou de um curso d'água urbano. Esse tipo de solução provoca um aumento na velocidade do escoamento das águas superficiais, transferindo para a jusante problemas de inundação nos troncos principais ou *na macrodrenagem*, em decorrência da diminuição do tempo de deslocamento do escoamento, provocada pelas alterações nas condições anteriormente existentes. Para que o acréscimo de vazão máxima gerado pelas medidas de controle *na microdrenagem* não seja transferido a jusante, pode-se utilizar dispositivos como: tanques, lagos e pequenos reservatórios abertos ou enterrados, para o amortecimento do volume gerado pela impermeabilizações e canalizações das áreas urbanizadas. Segundo Urbonas e Stahre (1993), apresentam-se como vantagens deste tipo de controle: custos reduzidos (em relação ao grande número de controles distribuídos), custo menor de operação e manutenção, facilidade de administrar a construção e, como desvantagens: dificuldade de achar locais adequados, custo de aquisição da área e grandes reservatórios e geralmente, conta com a oposição da população. As medidas para o controle *na macrodrenagem* se referem ao controle sobre os principais cursos d'água urbanos e foram abordadas com maior ênfase no estudo de caso.

PLANO DIRETOR DE CONTROLE DE INUNDAÇÃO

A elaboração do Plano Diretor de Controle de Inundações (PDCI) surgiu da necessidade de implantação de uma ferramenta de planejamento que, contemplando o atual cenário da região estudada e identificando as áreas com problemas de inundação (suas causas e consequências), pudesse estabelecer as ações necessárias de curto, médio e de longo prazo, de forma a propiciar a melhoria da qualidade de vida da população atingida. Este plano deverá também estar integrado ao

planejamento de uso da água no âmbito das cidades e incorporado aos Planos de Desenvolvimento Urbano dos municípios inseridos nas áreas de risco de inundações.

As ações deverão ser priorizadas e organizadas em um cronograma de implantação contemplando metas preestabelecidas, de modo a que sua realização possa ser acompanhada em detalhe e corrigida, sempre que se fizer necessário. Como ferramenta de planejamento, o referido plano deve ser reavaliado periodicamente, na medida em que surjam novos dados e informações e se comparem os resultados pretendidos com aqueles realmente alcançados pelas ações. As ações propostas foram organizadas em três categorias distintas:

- Obras ou ações estruturais: conjunto de intervenções voltadas para o combate direto dos problemas de inundação: barragens, diques, canais de drenagem, polders, etc.;

- Ações de implantação: conjunto de intervenções (estruturais ou não estruturais) voltadas para garantir a implantação das obras (levantamentos básicos, projetos, relocação de moradias, obtenção de financiamento, preservação de áreas destinadas a obras, reservatórios, constituição de um grupo permanente de implantação e atualização do plano); e

- Ações de apoio: são as ações de mais longo prazo voltadas para a obtenção de dados básicos em locais carentes, realização de estudos preliminares, desenvolvimento de modelos de simulação, elaboração de projetos de leis a serem sugeridos aos municípios (visando algum redirecionamento em vetores de expansão urbana), elaboração de normas e critérios de projetos.

Por princípio, o PDCI está pautado na buscar da melhoria das condições de vida da população inseridas nas áreas de risco, levando em conta as questões referentes à preservação e conservação ambientais. As ações do plano contemplarão, além das obras para redução da frequência das inundações na área da bacia, o controle das fontes de poluição e assoreamento dos cursos d'água e diretrizes para a ordenação do uso e ocupação do solo. Essas medidas refletem a preocupação em se promover à integração das ações previstas no plano diretor com outras ações institucionais previstas ou já implantadas na bacia.

As etapas proposta para a elaboração PDCI estão mostradas na Figura 1 e na Figura 2 está representada a ocupação esquemática do solo de uma bacia hipotética.

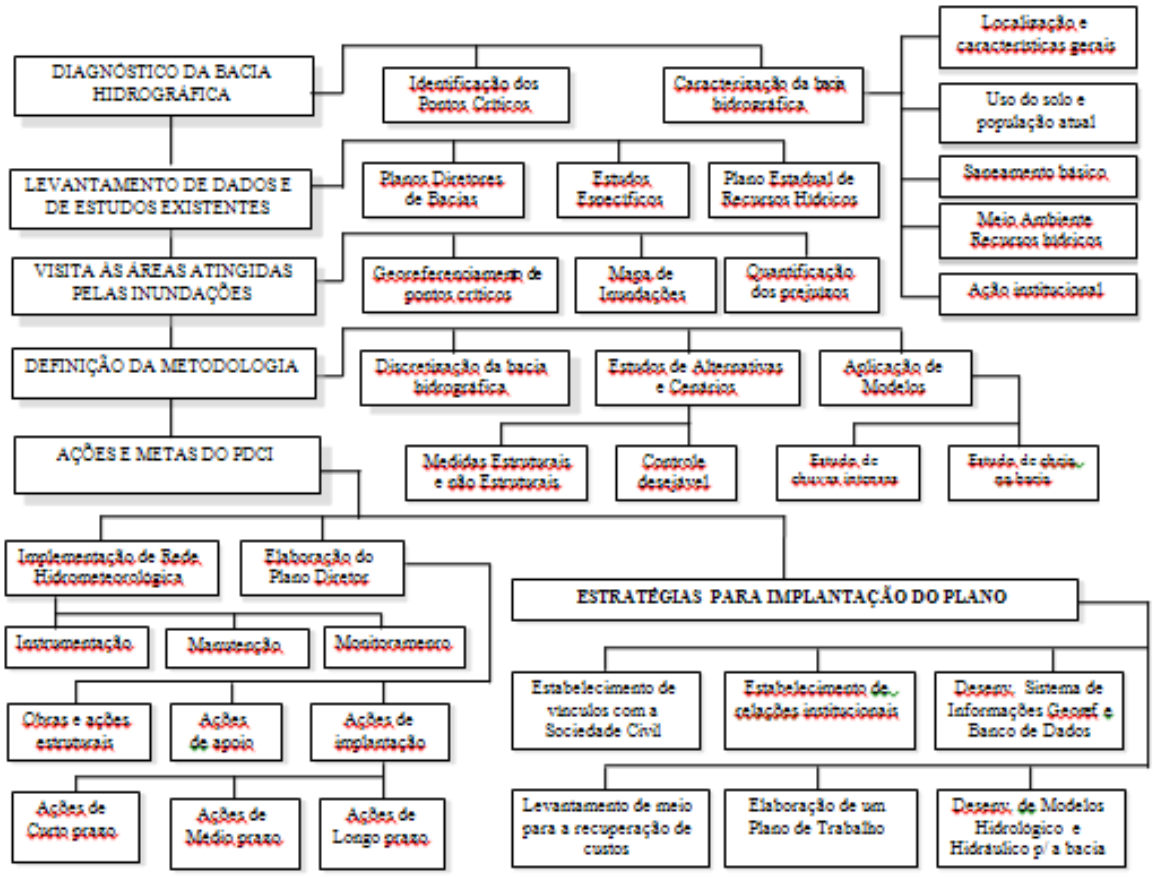

Figura 1 – Etapas a para a elaboração do Plano Diretor de Controle de Inundação

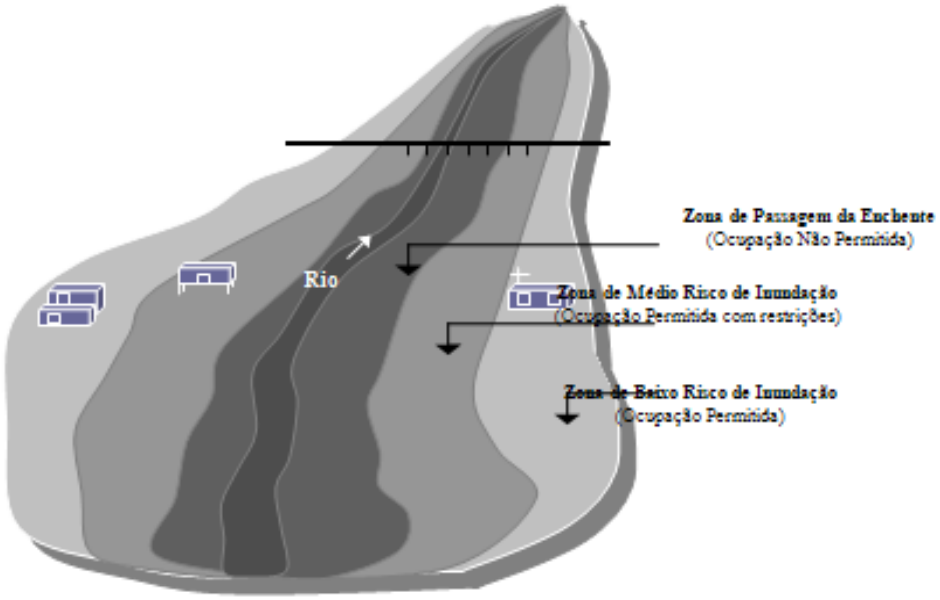

Figura 2 - Mapa esquemático de ocupação do solo de uma bacia hipotética.

Outro princípio básico para a elaboração do PDCI é promover a participação dos Comitês de Bacias Hidrográficas ou de segmentos organizados da sociedade civil nos processos de diagnóstico e de busca de soluções integradas, que atuarão como agentes fiscalizadores da implantação das ações previstas no referido plano. Este caráter participativo da sociedade na formulação do plano irá criar uma demanda futura pelos benefícios pretendidos pelas ações programadas. A participação e a integração das entidades e autoridades responsáveis pela execução das ações previstas no plano serão de fundamental importância para sua correta formulação e para garantir a continuidade na sua implantação.

ESTUDO DE CASO: O Baixo Curso do Rio Paraíba

A metodologia foi inicialmente proposta para a região do Baixo Curso do Rio Paraíba, localizada no litoral Sul do Estado da Paraíba, entre as latitudes 6º58' e 7º28' Sul e longitude 34º48' e 35º40' Oeste de Greenwich. Está delimitada pelo reservatório Acauã até a Foz do Rio Paraíba no Oceano Atlântico, no município de Cabedelo, abrangendo uma área de contribuição de 3.348 Km^2 (Figura 3).

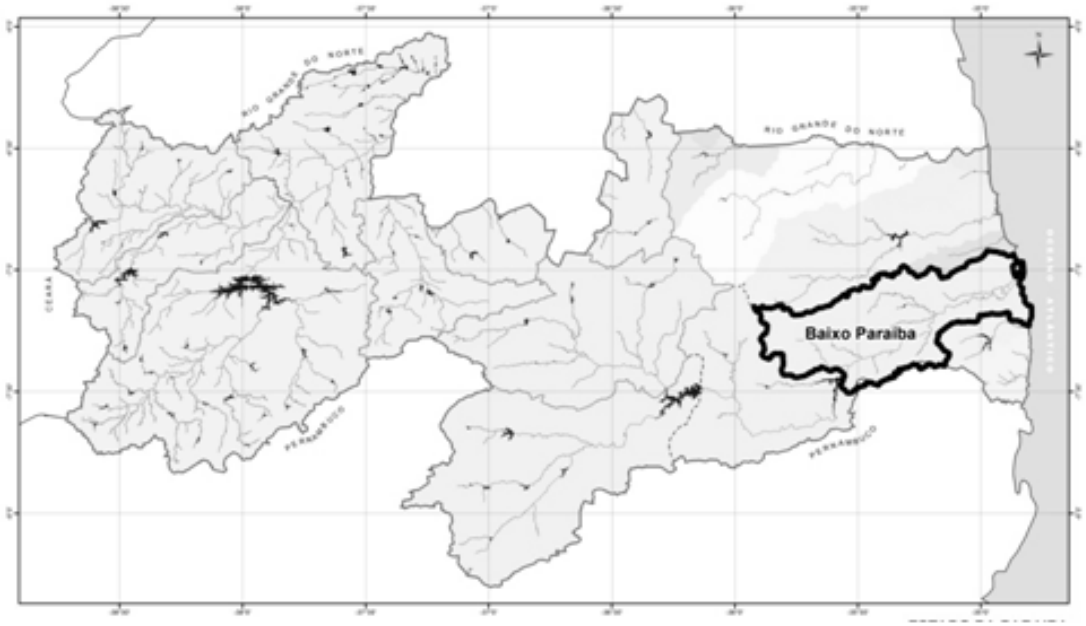

Figura 3 – Mapa de localização da região do Baixo Curso do Rio Paraíba

Nessa região estão inseridos 25 municípios, inclusive a capital do Estado (João Pessoa), onde é observada a maior concentração populacional, com 1.734.470 habitantes e uma densidade demográfica de 306 hab/Km^2. Constitui-se na região mais urbanizada (53% do Estado) e de maior importância econômica da Paraíba. Nela se concentram três grandes fatores causadores de inundações: ocupação desordenada das áreas ribeirinhas (pela população de baixo poder aquisitivo), alto grau de antropismo e maior índice pluviométrico do Estado (1.700 mm/ano). No Baixo Curso

do Rio Paraíba são registradas inundações frequentes mesmo em anos considerados normais em termos pluviométricos, despertando o interesse no desenvolvimento de um plano de ação para minimização dos efeitos das cheias nessa região. Segundo um levantamento realizado pela Agência de Águas, Irrigação e Saneamento do Estado da Paraíba (AAGISA, 2004), seis municípios inseridos nessa região são normalmente atingidos por inundações: São Miguel de Taipu, Pilar, Itabaiana, Salgado de São Félix, Cruz do Espírito Santo e Ingá. Nesses foi observado, no ano de 2.004, um saldo de 507 famílias desabrigadas ou em estado de alerta, duas mortes e um grande prejuízo material: casas e cabeceiras de pontes foram destruídas, perda de lavoura, rompimento de pequenas barragens e destruição parcial da PB 082.

ESTRATÉGIAS PARA O ESTUDO

A elaboração da proposta do plano de controle de inundações para o Baixo Curso do Rio Paraíba (Figura 1), contempla um estudo amplo, envolvendo ações estruturais e não estruturais. Neste artigo foram enfocadas apenas ações estruturais no âmbito das mediadas para o controle *na macrodrenagem*, no que concerne a implantação de reservatórios nos principais afluentes do Rio Paraíba: Surrão, Ingá e Gurinhém. A área total das bacias de contribuição desses tributários é de 1.697,5 Km^2 (61% da área total de estudo), controlando 34% do volume médio anual afluente da região não controlada por reservatórios. As análises, em caráter investigativo, no que tange as seções para implantação de reservatórios e de suas capacidades, tiveram como objetivo avaliar a redução do pico da onda de cheia nos exutórios dos referidos afluentes e na estação fluviométrica Ponte da Batalha, no rio Paraíba, em decorrências dessas intervenções. As etapas componentes da estratégia adotada para alcançar tais objetivos foram: caracterização da região, levantamento de dados existentes, visita a pontos críticos da região, discretização da Bacia do Rio Paraíba e a simulação hidráulica do sistema.

Características Gerais da Região

A região do Baixo Curso do Rio Paraíba apresenta um aspecto climático úmido do tipo Aw', conforme a classificação de Köeppen, temperatura média anual em torno dos 24 ºC, evaporação média anual de 2.000 mm e precipitação média de aproximada de 1.700mm anuais. O relevo da bacia apresenta-se como plano, onde predominam áreas de tabuleiro, de conformidade com o relevo das demais bacias Litorâneas do Estado. Os solos predominantes são os Brunos Não Cálcicos Planossólicos. Apresenta um alto grau de antopismo, com cerca de 90% das reservas naturais devastadas, principalmente da mata ciliar (SEMARH, 2001).

Dados Existentes

Uma das etapas mais importantes para um estudo hidrológico, principalmente no tocante a estudos de cheia, diz respeito ao levantamento de dados existes. Geralmente, com base no acervo de dados existente é traçada a metodologia para os estudos pretendidos. Nesse estudo foi utilizado como principal fonte para obtenção dos dados, o Plano Diretor da Bacia do Rio Paraíba (SEMARH, 2001). No inventário dos recursos hídricos da região estudada foram identificados: 48 estações pluviométricas, 7 estações fluviométricas e 3 estações meteorológicas. Na Tabela 1 estão os dados dos postos fluviométricos e na Tabela 2 estão os postos meteorológicos utilizados no estudo.

Tabela 1 – Localização dos postos fluviométricos na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba

Estações		Coordenadas		Curso	Área da Bacia
Código	Nome	Latitude	Longitude	D'Água	(Km²)
38810000	Monteiro	07º 53'	37º 07'	Rio Monteiro	300
38850000	Poço de Pedras	07º 24'	36º 26'	Rio Taperoá	3.144
38855300	Boqueirão de Cabaceiras	07º 59'	36º 08'	Rio Paraíba	12.130
38880000	Guarita	07º 20'	36º 23'	Rio Paraíba	17.217
38880001	Guarita (Lauro Miller)	07º 20'	35º 23'	Rio Paraíba	17.150
38885000	Pilar	07º 16'	35º 17'	Rio Paraíba	17.570
38895000	Ponte da Batalha	07º 08'	35º 03'	Rio Paraíba	19.224

Tabela 2 – Estações Meteorológicas existentes na bacia

Estação	Coordenadas		Altitude
	Latitude	Longitude	(m)
Campina Grande	07º 13'	35º 52'	508
Monteiro	07º 53'	37º 07'	590
João Pessoa	07º 08'	34º 53'	005

Visita a Pontos Críticos

A visita a pontos críticos da região de estudo teve como base os registros das inundações ocorridas no ano de 2.004, a partir do documento da AAGISA (2004). O percurso realizado partiu da barragem de Acauã (única estrutura existente para o controle de cheia da região) e se estendeu até o município de Santa Rita, ao longo do Rio Paraíba (Figura 4).

Discretização da Bacia

Num estudo de cheia, a vazão máxima de um curso d'água e o hidrograma de projeto são importantes instrumentos para o estudo de controle e atenuação dos efeitos das inundações sobre as áreas de risco. O hidrograma de cheia foi obtido pela transformação de precipitação de projeto em

cada sub-bacia e a propagação da mesma através de canais e reservatórios até a seção de interesse. A discretização consiste em se subdividir a área estudada em sub-bacias e em cada uma delas determinar o hidrograma de saída.

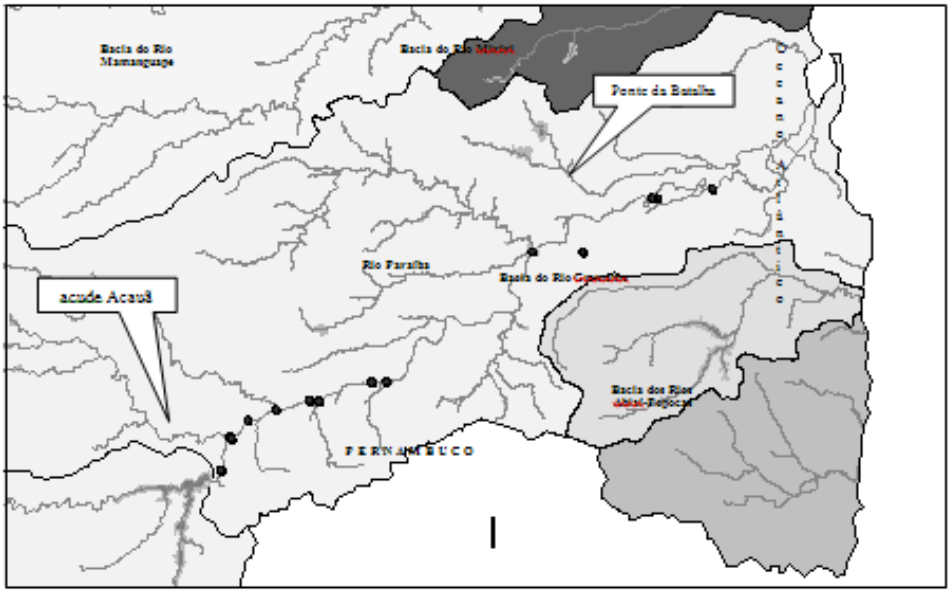

Figura 4 - Localização dos pontos visitados no Baixo Curso do Rio

O critério de subdivisão da bacia deve levar em conta (Tucci, 1993): uniformidade espacial da precipitação, uniformidade da cobertura vegetal, tipo de solo e relevo, locais de interesse e obras hidráulicas que interferem no escoamento. Essas condições são dificilmente encontradas na prática e a discretização dependerá da experiência do hidrólogo e da finalidade do estudo. Entretanto, essa deverá considerar as macrodiferenças da bacia e, em cada sub-bacia deverá existir uniformidade de precipitação e dos parâmetros do modelo e um hidrograma de saída. Para o estudo de cheia no Baixo Curso do Rio Paraíba foi considerada toda a bacia hidrográfica, discretizando-a em três sub-sistemas,: Alto, Médio e Baixo cursos do rio. Nas discretizações desses sub-sistemas foram adotadas as seguintes configurações hídricas:

- *Alto Curso do Rio Paraíba*, corresponde à área de contribuição entre as cabeceiras da bacia e o reservatório Epitácio Pessoa (Boqueirão). Neste, foram consideradas somente a área não controlada por reservatório contribuindo para o açude Boqueirão: 3.293 Km^2 referentes ao Rio Taperoá e 3.300 Km^2 referentes ao Rio Paraíba;

- *Médio Curso do Rio Paraíba*, delimitado pela área de contribuição entre os reservatórios Boqueirão e Acauã, composta por quatro sub-bacias de contribuição: Rio Bodocongó (745,50 Km^2), Riacho Santo Antônio (397,70Km^2), Rio Paraibinha (596,60Km^2) e área remanescente do Rio Paraíba (1.216,60 Km^2); e

- *Baixo Curso do Rio Paraíba*, corresponde à área delimitada pelo reservatório Acauã até o posto fluviométrico Ponte da Batalha, no município de Cruz do Espírito Santo. Na região foram definidos: 8 pontos de controle, 10 sub-bacias de contribuição e 8 áreas remanescentes. Na Figura 5 está representada a discretização da região do Baixo Curso do Rio Paraíba

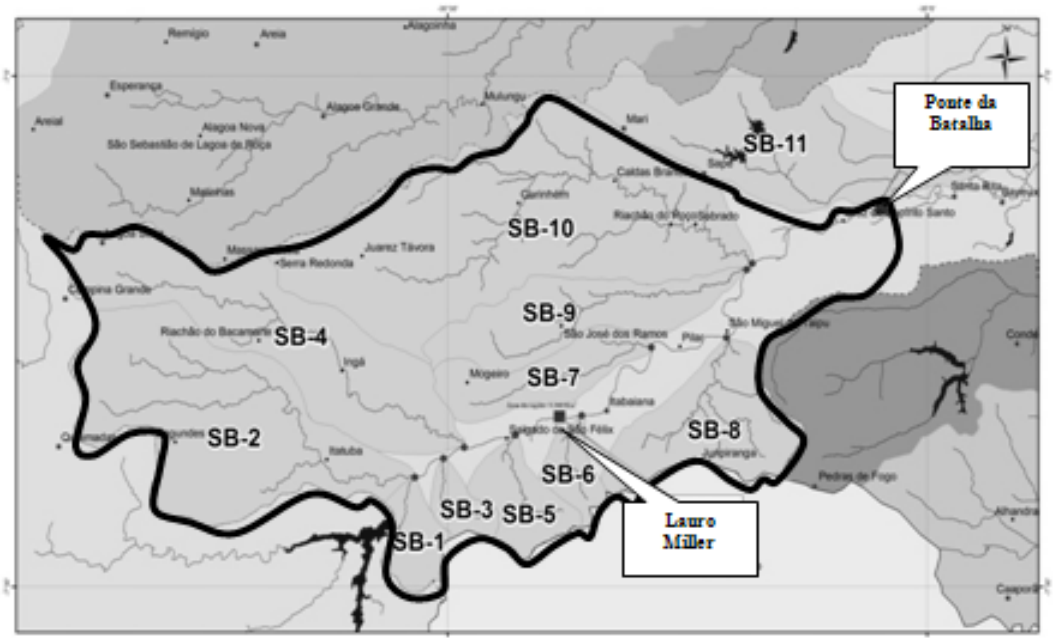

Figura 5– Mapa de discretização e pontos de controle no Baixo Curso do Rio Paraíba

Simulação hidráulica do sistema

As simulações foram realizadas com o objetivo de avaliar o impacto das intervenções (ações estruturais), sob o pico do hidrograma de cheia nos exutórios dos tributários: Surrão (SB2), Ingá (SB4) e Gurinhém (SB10) e também no hidrograma do posto fluviométrico Ponte da Batalha, a partir da implantação de reservatórios nos referidos tributários. As capacidades desses reservatórios foram estimadas em função do volume médio afluente anual em 60% das respectivas áreas de contribuição.

Para a realização das simulações e a análise da onda de cheia na bacia do Baixo Curso do Rio Paraíba foi utilizado o modelo de Análise Hidrologia em Bacias Complexas ABC6, desenvolvida pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Esse modelo é bastante versátil, pois permite o planejamento de ações para o controle de cheia mesmo em regiões onde há escassez de informações ou quando não se dispõe dados específicos e ainda permite ser utilizado para auxiliar em estudos de pré-dimensionamento. Essas características do modelo foram bastante úteis nessa fase preliminar de estudo, visto que, não se disponha de todos os dados de campo e alguns parâmetros específicos foram adotados a partir de valores médios disponíveis na literatura.

As simulações foram realizadas de acordo com as discretizações dos sub-sistemas: alto, médio e baixo cursos do rio Paraíba, conforme as configurações descritas anteriormente. Para as análises dos impactos dos reservatórios sobre o amortecimento do pico da onda de cheia na região estudada foram admitidas três classes de capacidade para os reservatórios, considerando as mesmas em nível de pré-dimensionamento. Numa avaliação preliminar, analisou-se a área que poderia ser incrementada como o uso dos volumes acumulados nos reservatórios de controle de cheia, para fins de uso agrícola, considerando três ordens de capacidades em função dos seguintes critérios de afluência hídrica: (i) igual ao volume médio afluente anual, (ii) igual a uma vez e meia esses volume e (iii) duas vezes o referido volume.

Na Figura 6 está representado o esquema hídrico para a simulação do Baixo Curso do Rio Paraíba no modelo ABC6.

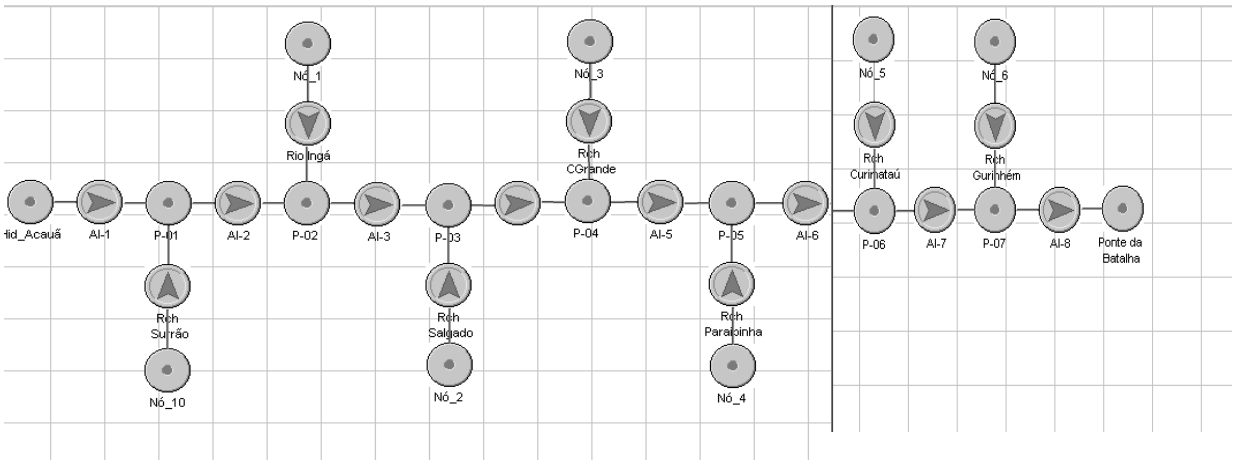

Figura 6 – Esquema para simulação do Baixo Curso do Rio Paraíba no modelo ABC6

Os principais dados utilizados na simulação referentes às bacias de contribuição foram:

- *Tempo de concentração*, calculado da fórmula empírica de *Bransby- Willians:*

$$t_C = 76{,}86 \cdot \frac{L}{5280} \cdot \left(\frac{1}{A^{0,1} \cdot S^{0,2}} \right) \qquad (1)$$

Onde,

t_C – tempo de concentração (min);

L – comprimento do talveg (m);

A – área da bacia (km^2); e

S – declividade (m/m)

- *Curva IDF*, a equação clássica que relaciona intensidade-duração-freqüência (IDF) é dada pela expressão:

$$i = \frac{(a \cdot TR)^b}{(t + c)} \quad (2)$$

Onde,

i – intensidade (mm/min);

TR – período de retorno (anos);

t – duração da chuva (min);

a, b e c – parâmetros a serem determinados.

Na simulação do sistema foi utilizada curva IDF para João Pessoa, para os seguintes valores: duração da chuva (120 minutos), coeficiente de redução espacial (1,0) e período de retorno (50 anos).

- *Parcela infiltrada* foi utilizado o método da SCS:

$$Q = \frac{(P - 0{,}2 \cdot S)^2}{(P + 0{,}8 \cdot S)} \quad para\ P > 0{,}2 \cdot S \quad (3)$$

onde,

Q - escoamento superficial direto (mm);

P - precipitação (mm); e

S - retenção potencial do solo (mm).

- *Coeficiente de Manning*, utilizada a fórmula composta:

$$N = (n0 + n1 + n2 + n3) * m \quad (4)$$

onde,

N – coeficiente de Manning;

$n0$ - rugosidade;

$n1$- grau de irregularidade;

$n2$ – efeito da obstrução;

$n3$ – tamanho da vegetação; e

m – interferência no percurso

A estimativa das vazões médias afluentes anuais dos tributários foi realizada a partir de dados de vazão específica obtidos do Plano Estadual e Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos

(ATECEL, 1994). Na Tabela 3 estão apresentados os valores de alguns parâmetros estabelecidos para os pontos de controle e respectivas sub-bacias de contribuição.

Tabela 3 - Parâmetros utilizados na simulação do Baixo Curso do Rio Paraíba.

Ponto de controle	Sub-bacia	Curso d'água	Área da bacia (km^2)	Comp. do talvegue (m)	Diferença de cota (m)	Declividade média (m/m)
	SB-1	Riacho Sem nome	38,63	7.924	373	0,04707
Ponto 1	SB-2	Rio Surrão	491,17	56.717	400	0,00705
	AI-1	Rio Paraíba	35,20	9.000	05	0,00055
	SB-3	Riacho Dois Irmãos	59,23	18.846	415	0,02202
Ponto 2	SB-4	Rio Ingá	450,52	77.806	350	0,00450
	AI-2	Rio Paraíba	32,10	9.500	05	0,00052
Ponto 3	SB-5	Riacho Salgado	124,07	19.608	350	0,01785
	AI-3	Rio Paraíba	40,00	13.500	05	0,00037
	SB-6	Riacho C. Grande	37,53	15.183	150	0,00988
Ponto 4	SB-7	Riacho Mogeiro	127,54	30.444	350	0,01150
	AI-4	Rio Paraíba	52,00	24.000	10	0,00042
Ponto 5	SB-8	Rio Una	221,90	29.480	100	0,00339
	AI-5	Rio Paraíba	35,00	13.500	08	0,00029
Ponto 6	SB-9	Riacho Curimataú	195,85	44.714	350	0,00783
	AI-6	Rio Paraíba	36,00	14.000	05	0,00036
Ponto 7	SB-10	Rio Gurinhem	756,28	268.102	430	0,00160
	AI-7	Rio Paraíba	25,00	1.700	02	0,00012
Ponto 8	AI-8	Rio Paraíba	60,00	26.500	08	0,00030

RESULTADOS

Os resultados mostram-se bastante satisfatórios no que tange a dois importantes aspectos estabelecidos pelo estudo:

- *Do ponto de vista do controle de inundações* (atenuação do pico do hidrograma de cheia).

A implantação de medidas estruturais proposta para o Baixo Curso do Rio Paraíba, com a construção barramentos nos três principais tributários: Surrão, Ingá e Gurinhém se mostrou bastante eficiente na atenuação da onda de cheia nas sub-bacias dos tributários, como também no Rio Paraíba. Numa avaliação preliminar, considerando as capacidades dos reservatórios resultantes dos volumes médios afluentes anuais correspondentes a 60% das áreas das respectivas bacias de contribuição foram obtidos os seguintes percentuais de atenuação no pico de cheia: Surrão (38,4%), Ingá (37,7%) e Gurinhém (52,9%). O impacto desses reservatórios na atenuação da onda de cheia no posto fluviométrico Ponte da Batalha foi 246 m^3/s (29,3%). O gráfico da Figura 7 mostra os hidrogramas de cheia e respectivos percentuais de atenuação com e sem os reservatórios para o controle de cheia.

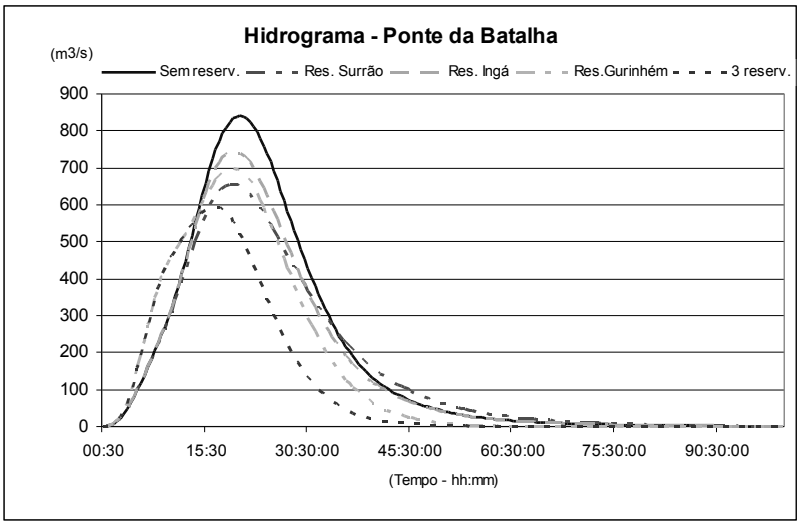

Figura 7 – Hidrograma no posto fluviométrico Ponte da Batalha, com e sem as intervenções de reservatórios nos tributários: Surrão, Ingá e Gurinhém.

- *Do ponto de vista do incremento hídrico para o desenvolvimento das atividades econômicas, a partir dos usos múltiplos dos reservatórios para o controle de cheia*.

Devido a principal finalidade da implantação dos reservatórios ser o amortecimento da onda de cheia no Baixo Curso do Rio Paraíba, quando menores forem seus volumes armazenados no início do período chuvoso, quanto maior será atenuação da onda de cheia. Nesse sentido, o uso dos volumes acumulados durante o período chuvoso nesses reservatórios deve ser proposto para o atendimento às demandas reprimidas da região, durante o período de estiagem: abastecimento rural, consumo animal, irrigação, aquicultura, lazer, etc. As demandas hídricas para a referida região estão mostradas na Tabela 4, para os anos de 2003, 2008 e 2023 (SECTMA, 2004).

Tabela 4 – Demandas hídricas para a Região do BCRP

Tipo de uso	Demandas hídricas (hm^3/ano)			% do total
	Ano 2003	Ano 2008	Ano 2023	(Ano 2023)
Abastecimento urbano	15,320	16,383	18,501	8,18
Abastecimento rural	5,193	5,407	5,719	2,53
Pecuária	49,465	49,465	49,465	21,86
Indústria	24,749	25,929	27,439	12,13
Irrigação	86,736	98,849	125,154	55,30
TOTAL	181,464	196,035	226,280	100,00

A Tabela 4 mostra a predominância da demanda da irrigação sobre as demais, projetando uma demanda para 2023 da ordem de 125 hm^3/ano, 55,3% da demanda total da Região. Do volume total de 137 hm^3/ano atualmente outorgados pela AESA, 32% está destinada à irrigação, beneficiando uma área aproximada de 12.380 ha. Considerando as três classes de capacidades dos reservatórios e um consumo médio de 6.000 m^3/ha, para o ciclo da cana-de-açúcar, chegou-se a estimativa para as possíveis áreas irrigadas utilizando os volumes acumulados nos referidos reservatórios. Foram estimados também os percentuais que os respectivos volumes representariam das demandas requeridas para a irrigação, para o horizonte de 2023 e também das demandas totais da Região, considerando os horizontes de 2008 e 2023. Os resultados estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Áreas irrigadas e percentuais do déficit hídricos da irrigação e total em função das capacidades dos reservatórios.

Ordem de capacidade	Capacidade total (hm^3)	Uso em Irrigação		% da demanda total	
		Área (ha)	% demanda (Ano 2023)	Ano 2008	Ano 2023
(i)	59,594	9.930	47,6	30,4	26,3
(ii)	89,392	14.900	71,4	45,6	39,5
(iii)	119,189	19.870	95,2	60,8	52,7

Os resultados apresentados na Tabela 5 mostraram que, considerando a capacidade igual a duas vezes o volume afluente anual, poderia proporcionar uma área incremental de irrigação na região, no período de estiagem, da ordem de 20.000 ha, que representaria 95% da área potencial de irrigação e 53% da demanda total no horizonte de 2023. O volume total acumulado de 119,2 hm^3 representa duas vezes e meia o volume outorgado atualmente para a irrigação e 87% do volume total anual outorgado pela AESA.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A região do Baixo Curso do Rio Paraíba é bastante vulnerável a ocorrência de inundações mesmo considerando o reservatório Acauã com níveis mínimos no início do período chuvoso da região. As inundações ocorrem em face do grande volume afluente anual dos tributários no rio Paraíba, principalmente, dos rios: Surrão, Ingá e Gurinhém, que juntos abrangem 61% da área total não controlada por reservatórios.

O plano de controle de inundação para o Baixo Curso do Rio Paraíba se mostrou bastante promissor, visto que, considerando-se apenas medidas estruturas, referentes à implantação de reservatórios nos principais tributários do Rio Paraíba, foi capaz de atenuar em 30% o pico da onda

de cheia do rio, minimizando assim, os efeitos catastróficos causados pelas inundações e ainda, poder-se-ia atender a demandas reprimidas, através da utilização dos volumes acumulados pelos referidos reservatórios durante o período de estiagem da região.

Vale ressaltar que, os resultados apresentados pelo estudo, considerando apenas a aplicação de medidas estruturais, embora tenham se mostrados satisfatórios, as mesmas devem ser associadas às medidas não estruturais, como também a um plano de desenvolvimento dos municípios, para atingir melhores resultados no tocante ao controle de cheias das áreas sujeitas às inundações. Portanto, o PDCI proposto deverá ser integrado a outros planos setoriais das bacias do Estado com risco de ocorrência de cheias, particularmente, as regiões do Agreste e do Litoral, tornando-se assim, numa importante ferramenta de gestão de recursos hídricos e de desenvolvimento socioeconômico de áreas com risco de inundações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA DE ÁGUAS, IRRIGAÇÃO E SANEAMENTO DO ESTADO DA PARAÍBA (AAGISA). 2004. Plano Estadual de Recursos Hídricos: Controle de Inundações. João Pessoa - PB.

ASSOCIAÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA ERNESTO LUIZ DE OLIVEIRA JÚNIOR (ATECEL). 1994. Plano Estadual e Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Campina Grande – PB.

BARROS, M. T. L., 2005. Drenagem Urbana: Bases Conceituais e Planejamento. In: Saneamento, Saúde, e Ambiente: Fundamentos para um Desenvolvimento Sustentável. Universidade de São Paulo – Faculdade de Saúde Pública. Núcleo de Informações em Saúde Ambiental. São Paulo: ed. Barueri, SP.

SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DOS DO MEIO AMBIANTE, DOS RECURSOS HÍDRICOS E MINERAIS (SEMARH). 1997. Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba: Bacias do Rio Piancó e do Alto Piranhas. João Pessoa – PB.

SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DOS DO MEIO AMBIANTE, DOS RECURSOS HÍDRICOS E MINERAIS (SEMARH). 2001. Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. João Pessoa – PB.

SECRETARIA DE ESTADO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA E DO MEIO AMBIENTE (SECTMA). 2006. Plano Estadual de Recursos Hídricos. João Pessoa - PB.

TUCCI, E. M. C. 1993. Hidrologia: Ciência e aplicação. Coleção ABRH de Recursos Hídricos; v. 4. Porto Alegre – RS.

TUCCI, C. E. M. 1999. Água no meio urbano. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (organizadores). Águas Doces no Brasil. São Paulo-SP.

URBONAS, B.; STAHRE, P. 1993. Stormwater Best Management Practices and Detention, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.