

A Gestão de Recursos Hídricos Subsidiada pelo Uso de Indicadores de Sustentabilidade

Martha Viviane Cabral de Vasconcelos Campos*, Márcia Maria Rios Ribeiro*,
Zédna Mara de Castro Lucena Vieira*

vivivianeengenhaira@hotmail.com; mm-ribeiro@uol.com.br; zedvieira@globo.com

Recebido: 18/04/13 - revisado: 09/06/13 - aceito: 06/11/13

RESUMO

Este artigo propõe uma metodologia para análise da sustentabilidade hídrica de bacias hidrográficas, através do uso de indicadores. Considerando a bacia hidrográfica em níveis de planejamento macro (bacia) e micro (sub-bacia, município, açude), a análise é feita com base em três indicadores – Indicador de Potencialidade, Disponibilidade e Demanda; Indicador de Desempenho do Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos; e Indicador de Eficiência e Uso da Água – e seus respectivos índices. Os indicadores e seus índices são classificados a partir de escalas globais e parciais, compostas por cinco graus de sustentabilidade: muito alto, alto, médio, baixo e muito baixo. A metodologia proposta é aplicada à bacia hidrográfica do rio Taperoá, localizada na parte semiárida do Estado da Paraíba. A análise demonstra: (i) que diferentes resultados podem ser alcançados em função do nível de planejamento considerado; e (ii) a baixa sustentabilidade hídrica da bacia utilizada como caso de estudo. Tais resultados permitem sugerir ações de gestão de recursos hídricos, de maneira a apoiar a tomada de decisão pelas entidades responsáveis por essa gestão.

Palavras-Chave: Indicadores, sustentabilidade hídrica, bacia hidrográfica.

INTRODUÇÃO

A construção de um futuro sustentável para as novas gerações é um dos grandes desafios do século XXI. Nas últimas décadas, os governos têm buscado discutir, de forma mais objetiva e sistemática, a questão da sustentabilidade dos recursos naturais e seus reflexos sobre a qualidade de vida das futuras gerações, ou seja, a questão do desenvolvimento sustentável.

Enquanto a sustentabilidade, do ponto de vista ambiental, implica na coexistência harmônica do homem com seu meio ambiente, o desenvolvimento sustentável é um permanente processo de aperfeiçoamento e ampliação dos patrimônios econômicos, sociais e ambientais de um país ou região, conduzido de forma harmônica e equanimemente distribuído no espaço e no tempo (LIMA, LIMA & LIMA, 2000).

Mensurar a sustentabilidade requer a integração de um grande número de informações advindas de uma pluralidade de disciplinas e áreas de

conhecimento; por consequência, comunicar tal riqueza de informações ao público não especialista, de forma coerente, se torna um grande desafio; e é neste contexto que os indicadores surgem como ferramentas capazes de comunicar realidades complexas, de forma simplificada (BRAGA, FREITAS & DUARTE, 2003). Portanto, o principal papel dos indicadores é transformar dados em informações relevantes para os tomadores de decisão e o público (CALIJURI *et al.*, 2009).

A construção de indicadores fornece subsídios à formulação de políticas, bem como à tomada de decisão por atores públicos e privados, buscando descrever a interação entre a atividade antrópica e o meio ambiente, bem como conferir maior concretude e funcionalidade ao conceito de sustentabilidade (FOXON, 2002).

A tentativa de mensurar a ausência de equilíbrio ambiental entre a humanidade e os recursos naturais leva a inclusão de indicadores de sustentabilidade como ferramenta importante na avaliação do uso correto destes recursos (ERCIN, ALDAYA & HOEKSTRA, 2011). De acordo com Hoekstra & Chapagain (2008), não é possível trabalhar apenas com um único indicador de sustentabilidade, por causa da enorme variedade de fatos, valores e incertezas no debate sobre o desenvolvimento sustentável

*Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental/
Universidade Federal de Campina Grande

da água. E no caso específico dos recursos hídricos, o confronto constante entre o potencial e as disponibilidades hídricas, e entre estas e as demandas de cada bacia hidrográfica, torna necessário o emprego de indicadores de sustentabilidade (VIEIRA, 2003), que mostrem, ao longo do tempo, se há aproximação ou distanciamento da sustentabilidade da bacia, quanto à qualidade e à quantidade dos recursos hídricos. Exemplos de indicadores aplicados às questões hídricas são encontrados nos trabalhos de Ribeiro (2012) e Lemos & Silva (2003), entre outros.

Este artigo descreve a construção de indicadores (e seus respectivos índices) capazes de diagnosticar a situação de sustentabilidade hídrica de uma bacia hidrográfica e de apoiar a tomada de decisão na gestão de recursos hídricos. Considerando, como caso de estudo, a bacia hidrográfica do rio Taperoá (uma sub-bacia da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba, porção semiárida do Estado da Paraíba), a aplicação dos indicadores é feita para vários níveis de planejamento, objetivando o conhecimento mais detalhado dos problemas de escassez hídrica e correlatos – enfrentados, via de regra, por bacias hidrográficas situadas em regiões semiáridas –, bem como a sugestão de medidas de gestão que contribuam para o aumento da sustentabilidade hídrica da bacia.

INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE HÍDRICA

Indicadores podem ser definidos como ferramentas para obtenção de informações sobre uma dada realidade, possuindo a característica principal de sintetizar as informações pela consideração, apenas, dos significados essenciais dos vários aspectos analisados (MITCHELL, 2004). Siche *et al.* (2007) consideram que um indicador deve expressar uma quantificação estatística simples, lógica e coerente, bem como informar, efetivamente, o estado do sistema analisado.

Um indicador é formado por um conjunto de índices que fornecem informações, a partir da mensuração de elementos e fenômenos da realidade, com base em padrões de referência, para tornar o seu significado mais claro e facilitar a comunicação (OCDE, 1987). De maneira geral, os indicadores e índices são elaborados para cumprirem as

funções de simplificação, quantificação, análise e comunicação, permitindo entender fenômenos complexos e torná-los quantificáveis e compreensíveis, de modo que possa ser analisado em um dado contexto e, ainda, comunicar-se com os diferentes níveis da sociedade (LOUCKS, 1999).

Diversos autores – Tao *et al.* (2012); Campos, Melo & Meurer (2007); entre outros – desenvolveram e/ou aplicaram indicadores, como um meio de simplificar as informações relevantes e traduzi-las para uma realidade mais aparente. Desta forma, a literatura especializada apresenta diferentes tipos de indicadores, entre os quais se encontram os indicadores de sustentabilidade (ou de desenvolvimento sustentável), que buscam medir – em nível ambiental, econômico, social e institucional – a degradação ambiental e o uso dos recursos naturais, fornecendo subsídios científicos para a decisão sobre a escala aceitável de uso de um recurso natural, de modo a minimizar o risco de perdas irreversíveis (ROMEIRO, 2004).

No geral, os indicadores de sustentabilidade são utilizados como ferramenta padrão em diversos estudos nacionais e internacionais, facilitando a compreensão das informações sobre fenômenos complexos. Eles atuam como base para análise do desenvolvimento que abrange diversas dimensões (nelas incluídos fatores econômicos, sociais, culturais, geográficos e ambientais), uma vez que permite verificar os impactos das ações humanas no ecossistema (SILVA, CORREIA & CÂNDIDO, 2010).

Indicadores de sustentabilidade têm sido desenvolvidos para atender a diferentes propósitos, verificando-se que os fatores que influenciam a sustentabilidade podem variar em função da escala geográfica utilizada (VAN ZEIJL-ROZEMA & MARTENS, 2010). No caso de indicadores de sustentabilidade hídrica, a escala geográfica natural, para a sua aplicação, é a bacia hidrográfica – especialmente no Brasil, dado o papel de unidade territorial para aplicação da gestão de recursos hídricos, a ela conferido pela Lei 9.433/97 – de modo a garantir a análise integrada dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos ali compreendidos (independentemente de os limites dos aquíferos coincidirem, ou não, com os limites da bacia). No caso descrito neste artigo, porém, a quase inexistente disponibilidade de água subterrânea na bacia, dado o embasamento cristalino característico do semiárido brasileiro, faz com que os indicadores desenvolvidos se refiram exclusivamente às águas superficiais da área de estudo.

O maior desafio, quando se trata de discutir a questão da sustentabilidade, é o de compatibilizar

o crescimento econômico com a preservação ambiental e justiça social. Para isso, o gerenciamento do conhecimento no uso dos indicadores de sustentabilidade pode ser um instrumento adequado para tais evidências, principalmente porque nestes sistemas de indicadores estão contidas as informações pertinentes à situação econômica, social e ambiental de um espaço geográfico em um determinado período (LIRA, 2008).

A sustentabilidade hídrica de uma bacia hidrográfica é determinada pela sua capacidade em: manter ou melhorar a saúde de seu sistema ambiental; minorar a degradação e o impacto ambiental antrópico; prover seus habitantes de um ambiente saudável e seguro; construir pactos políticos que permitam enfrentar desafios presentes e futuros; garantir condições ambientais com baixos níveis de externalidades negativas sobre outras bacias próximas ou distantes e sobre o seu próprio futuro; utilizar recursos e serviços ambientais abaixo da sua capacidade de renovação; distribuir as atividades no território de acordo com seu potencial; praticar atividades de tal maneira que a emissão de contaminantes seja inferior à capacidade de assimilação, e por último, garantir uma apropriação justa dos recursos naturais (VIEIRA, 2002).

Neste contexto, o desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade hídrica reveste-se de grande importância e deve considerar todos os fatores que influenciam a sustentabilidade da bacia hidrográfica, permitindo o detalhamento das características necessárias à análise desta. Vale ressaltar que cada bacia possui características próprias, havendo necessidade de se ter grupos de indicadores que: (i) traduzam sua realidade; (ii) sejam bem definidos; e (iii) possam sofrer algumas alterações. Mais importante que o número de indicadores definidos, é o tipo e o grau de confiabilidade das informações neles contidas (CHRISTOFOLETTI, 1999) permitindo o uso dos indicadores como suporte ao planejamento e monitoramento dos recursos hídricos.

METODOLOGIA

De um modo geral, a metodologia adotada, para a construção de indicadores de sustentabilidade hídrica, consiste em seis etapas metodológicas, e a forma como estas foram empregadas neste trabalho está descrita a seguir.

Escolha dos indicadores

Considerando o objetivo de definição de indicadores que permitam avaliar as condições de sustentabilidade hídrica de uma bacia hidrográfica, em relação a determinadas variáveis (como as potencialidades e demandas hídricas, a forma como os recursos hídricos estão sendo gerenciados e utilizados), e tendo por base uma extensa pesquisa bibliográfica sobre indicadores, o tipo de informações por eles requeridas e o tipo de informações disponíveis sobre a bacia hidrográfica em estudo, decidiu-se pelo desenvolvimento de três indicadores, a saber: (i) Indicador de Potencialidade, Disponibilidade e Demanda (IPDD), para agrupar informações relativas à potencialidade e à disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica, bem como à capacidade de atendimento das demandas atuais, futuras (sem a implantação de ações de gestão) e controladas (ou seja, a partir da implantação de ações de gestão hídrica que promovam o uso racional da água); (ii) Indicador de Desempenho do Sistema de Gestão dos Recursos Hídricos (IGRH), para refletir a situação de implantação de entes e instrumentos da política de recursos hídricos; e (iii) Indicador de Eficiência de Uso da Água (IEUA), para informar as condições de saneamento ambiental na bacia hidrográfica e o nível de eficiência da concessionária de abastecimento público na distribuição da água captada.

Escolha dos índices

Para a escolha dos índices componentes de cada indicador, foram considerados os critérios apontados por Braga, Freitas & Duarte (2003), quais sejam: (i) relevância (capacidade de traduzir o fenômeno); (ii) aderência local (capacidade de captar o fenômeno produzido ou passível de transformação no plano local); (iii) disponibilidade (cobertura e atualidade dos dados); e (iv) capacidade de permitir comparações temporais.

Os índices considerados neste estudo são calculados para os principais mananciais e para os municípios inseridos na bacia hidrográfica. A Tabela 1 apresenta os índices selecionados para cada indicador.

Estabelecimento das escalas parciais dos índices

Os índices componentes do IPDD (Indicador de Potencialidade, Disponibilidade e Demanda) são linearizados, de forma a variarem de 0 a 1, conforme a Equação 1:

Tabela 1 – Indicadores e respectivos índices.

Indicador	Índice de	Descrição
IPDD (Indicador de Potencialidade, Disponibilidade e Demanda)	Abastecimento da Demanda Atual (IADA)	Relação entre a disponibilidade (garantia de 90%) e a demanda atual
	Abastecimento da Demanda Futura (IADF)	Relação entre a disponibilidade (garantia de 90%) e a demanda futura
	Abastecimento da Demanda Controlada (IADC)	Relação entre a disponibilidade (garantia de 90%) e a demanda atual, reduzida em 20%
	Ativação das Potencialidades (IAP) ⁽¹⁾	Relação entre a disponibilidade (garantia de 90%) e a potencialidade
	Utilização das Potencialidades (IUP) ⁽¹⁾	Relação entre a demanda atual e a potencialidade
	Utilização das Disponibilidades (IUD) ⁽¹⁾	Relação entre a demanda atual e a disponibilidade (garantia de 90%)
IGRH (Indicador de Desempenho do Sistema de Gestão de Recursos Hídricos)	Comitês de Bacia Hidrográfica (ICBH)	Existência e nível de atuação de comitê
	Outorga (IO)	Nível de implantação da outorga
	Cobrança (IC)	Nível de implantação da cobrança
IEUA (Indicador de Eficiência do Uso da Água)	Domicílios Atendidos por Poços (IDAP) ⁽²⁾	Percentual de domicílios atendidos por poços em relação ao número total de domicílios
	Domicílios Atendidos por Sistema de Abastecimento de Água (IDASA) ⁽²⁾	Percentual de domicílios atendidos por sistema de abastecimento em relação ao número total de domicílios
	Ligações de Esgoto (ILE) ⁽²⁾	Percentual de domicílios atendidos por rede de esgotos ou fossa séptica em relação ao número total de domicílios
	Tratamento de Esgoto (ITE) ⁽²⁾	Percentual de domicílios atendidos por tratamento de esgotos em relação ao número total de domicílios
	Tratamento de Resíduos Sólidos (ITRS) ⁽²⁾	Percentual de domicílios com lixo coletado em relação ao número total de domicílios
	Perdas de Água na Rede (IPAR)	Média percentual das perdas físicas (vazamentos) e faturadas (ligações clandestinas)

Obs.: ⁽¹⁾ Baseado em Vieira et al. (1995); ⁽²⁾ Baseado em CONESAN (1999).

$$E_i = (I_{\text{Maior}} - I_{i(\text{calculado})}) / (I_{\text{Maior}} - I_{\text{Menor}}) \quad (1)$$

Onde: E_i é o valor (para classificação na escala parcial) para o índice i ; I_{Maior} é o maior valor possível para o índice i ; I_{Menor} é o menor valor possível para o índice i ; $I_{i(\text{calculado})}$ é o valor calculado para o índice i , com base nas condições da bacia hidrográfica considerada.

É importante observar que: (i) os índices IADA (Índice de Abastecimento da Demanda Atual), IADF (Índice de Abastecimento da Demanda Futura) e IADC (Índice de Abastecimento da Demanda Controlada) variam de 0 (situação desejável) a 1 (situação crítica); e (ii) os índices IAP (Índice de Ativação das Potencialidades), IUP (Índice de Utilização das Potencialidades) e IUD (Índice de Utilização das Disponibilidades) variam de 1 (situação desejável) a 0 (situação crítica). Estes índices são calculados para cada reservatório inserido na bacia hidrográfica, permitindo verificar a adequação do

abastecimento provido e as relações das demandas com as potencialidades de sua bacia de contribuição. A escala parcial para todos os índices relaciona os valores calculados (E_i) a graus de desempenho (Muito Alto, Alto, Médio, Baixo e Muito Baixo).

Os índices que compõem o IGRH (Indicador de Desempenho do Sistema de Gestão de Recursos Hídricos) são subjetivos e determinados a partir da análise da sua aplicação à bacia hidrográfica em estudo. As escalas parciais para estes índices são qualitativas (Tabela 2).

Para os índices que compõem o IEUA (Indicador de Eficiência do Uso da Água), as escalas parciais (também de acordo com graus de Muito Alto a Muito Baixo) são relacionadas a percentuais que variam de 0 a 100%. Por exemplo, um índice com valor igual a 60% é classificado como médio, enquanto outro com valor igual a 25% é considerado Baixo.

Tabela 2 – Escalas parciais para os índices do IGRH.

Grau	Descrição
Índice de Comitê de Bacia Hidrográfica (ICBH)	
Muito Alto	Comitê com boa articulação e alto índice de solução de problemas na bacia
Alto	Comitê atuando há alguns anos e médio índice de solução de problemas na bacia
Médio	Comitê instalado recentemente e baixo índice de solução de problemas na bacia
Baixo	Comitê proposto em lei, em processo de instalação
Muito Baixo	Nenhuma ação no sentido de criação de comitê na bacia
Índice de Outorga (IO)	
Muito Alto	Outorga implantada, boa fiscalização e alta redução do consumo de água
Alto	Outorga implantada, médio índice de fiscalização e de redução do consumo de água
Médio	Outorga implantada, baixo índice de fiscalização e de redução do consumo de água
Baixo	Outorga proposta em lei, em processo de implantação
Muito Baixo	Nenhuma ação no sentido de implantação da outorga na bacia
Índice de Cobrança (IC)	
Muito Alto	Cobrança implantada, boa arrecadação e alto grau de desenvolvimento da bacia
Alto	Cobrança implantada há alguns anos, significativa arrecadação e bom grau de desenvolvimento da bacia
Médio	Cobrança implantada recentemente, déficit de arrecadação
Baixo	Cobrança proposta em lei, em processo de implantação
Muito Baixo	Nenhuma ação no sentido de implantação da cobrança na bacia

Estabelecimento dos níveis de planejamento

Os índices que compõem os indicadores são calculados com base em dois níveis de planejamento: um nível macro, onde a bacia hidrográfica é considerada como um todo; e um nível micro, em que são considerados, separadamente, sub-bacias, reservatórios e municípios inseridos na bacia hidrográfica. Todos os índices que compõem o IPDD (Indicador de Potencialidade, Disponibilidade e Demanda) foram calculados para os níveis macro e micro. Para os três índices que compõem o IGRH (Indicador de Desempenho do Sistema de Gestão

de Recursos Hídricos) foi utilizado o nível macro (bacia). Para esse indicador, os seus índices ICBH (Comitês de Bacia Hidrográfica), IO (Outorga) e IC (Cobrança) foram considerados, também, para o nível micro de sub-bacia. Desses índices, apenas o IO foi calculado para o nível micro de açudes. Nenhum dos três índices que compõem o IGRH foi calculado para o nível micro de municípios. Os índices que compõem o IEUA (Indicador de Eficiência do Uso da Água) foram calculados para o nível macro de planejamento e, no nível micro, foram considerados para sub-bacias e municípios, ou seja, não foram calculados para o nível de açudes (a natureza dos dados do IEUA não permite esse cálculo).

O objetivo do estabelecimento de diferentes níveis de planejamento é verificar possíveis diferenças de resultados, em função da escala geográfica considerada, cooperando para um melhor conhecimento sobre a real situação de sustentabilidade hídrica na bacia hidrográfica, nas sub-bacias, nos municípios e nos reservatórios (os açudes).

Definição das escalas globais dos indicadores

Ao se agrupar os índices, constroem-se escalas globais, com graus de sustentabilidade hídrica para todos os indicadores, de maneira a permitir a maior compreensão do significado do valor obtido para cada indicador. Os graus das escalas são qualitativos, variando de acordo com os valores obtidos no agrupamento dos índices. Este agrupamento pode ocorrer pela consideração da soma (IPDD) ou da média (IEUA) dos índices (Tabela 3), ou pela união dos instrumentos de gestão (IGRH) (Tabela 4).

Tabela 3 – Escala global para o IPDD e o IEUA.

Grau	IPDD	IEUA
	Somatório (Σ)	Média (M %)
Muito Alto	$\Sigma < 1,5$	$80 \leq M$
Alto	$1,5 \leq \Sigma < 2,0$	$60 \leq M < 80$
Médio	$2,0 \leq \Sigma < 2,5$	$40 \leq M < 60$
Baixo	$2,5 \leq \Sigma < 3,0$	$20 \leq M < 40$
Muito Baixo	$\Sigma > 3,0$	$M < 20$

Definição da sustentabilidade hídrica da bacia

A sustentabilidade hídrica da bacia é definida por indicador (IPDD, IEUA e IGRH) e por nível de planejamento (macro – bacia hidrográfica

e micro – sub-bacia, município, reservatório), em função do grau obtido na respectiva escala global (muito alto, alto, médio, bom, muito baixo). Desta maneira, cada indicador permite a obtenção de um conceito global referente às diferentes dimensões da sustentabilidade hídrica da bacia hidrográfica analisada.

Tabela 4 – Escala global para o IGRH.

Grau	União dos índices
Muito Alto	Comitê, outorga e cobrança em pleno funcionamento na bacia, gerando alta redução da demanda
Alto	Comitê, outorga e cobrança atuando há alguns anos, gerando pouca redução da demanda
Médio	Comitê, outorga e cobrança (um, ou mais, dos três) implantados recentemente, porém com problemas no funcionamento
Baixo	Comitê, outorga e cobrança (um, ou mais, dos três) propostos em lei, em processo de instalação
Muito Baixo	Nenhuma ação no sentido de aplicação de (um, ou mais, dos três) comitê, outorga e cobrança na bacia

A bacia (nível macro de planejamento), por exemplo, pode ser classificada em um estado “Bom” para um determinado indicador, porém, em um outro nível de planejamento (por exemplo, sub-bacia) pode-se alcançar um conceito melhor de sustentabilidade (por exemplo, “Muito Bom”) se houver uma determinada sub-bacia que, isoladamente, se apresente em uma melhor situação referente ao indicador analisado. O Indicador de Eficiência de Uso da Água (IEUA) – como apresentado na seção “Análise de Resultados” -, por exemplo, obteve grau Baixo para a bacia (função das péssimas condições de saneamento vigentes na maioria dos municípios), no entanto, há sub-bacias que apresentam o IEUA em grau “Médio” – diferentemente, portanto, do resultado global encontrado para a bacia.

Esta etapa de “Definição da sustentabilidade hídrica da bacia”, assim como todas as outras etapas metodológicas descritas anteriormente, tem sua aplicação ao caso de estudo apresentada, detalhadamente, na seção a seguir.

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

Caracterização da área de estudo

A área de estudo selecionada é a bacia hidrográfica do rio Taperoá, situada na porção semiárida do Estado da Paraíba, sendo, portanto, sujeita a secas periódicas e apresentando baixas médias anuais de pluviometria (350-600 mm/ano), altas taxas de evaporação (2500-3000 mm/ano) e alta variabilidade interanual e espacial das precipitações, as quais se concentram em dois a quatro meses do ano (SILVA, PINTO & CYSNEIROS, 2000). A bacia abrangente, total ou parcialmente, 23 municípios, e constitui-se em sub-bacia da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba (Figura 1).



Figura 1 – Localização da sub-bacia do rio Taperoá, na Bacia Hidrográfica do rio Paraíba.

A bacia do rio Taperoá drena uma área aproximada de 5.664 km² e para ela contribuem, além do rio principal, o rio Taperoá (de regime intermitente, como todos os outros da região), as seguintes sub-bacias: Riacho Boa Vista, Riacho da Serra Grande, Riacho do Farias, Rio Soledade, Riacho Desterro, Riacho do Silva, Riacho Mucutu, Riacho do Livramento e Riacho dos Cordeiros.

O embasamento cristalino, com predominância de solos rasos e com escoamento superficial elevado, reduz a ocorrência de águas subterrâneas e transforma as águas superficiais na principal fonte hídrica. No entanto, a intermitência dos rios obriga ao armazenamento de água em reservatórios (açudes), sendo os principais: Taperoá II (15.148.900 m³); Lagoa do Meio (6.647.875 m³); Barra (3.017.185 m³); Gurjão (1.929.250 m³); Jeremias (4.658.428 m³); Livramento (2.432.420 m³); Mucutu

(25.373.341 m³); Namorados (2.118.980 m³); Olivados (5.875.124 m³); Salitre (3.576.680 m³); São José dos Cordeiros (1.311.540 m³); Serra Branca I (2.117.000 m³); Serra Branca II (14.042.568 m³); Soledade (27.804.100 m³) e João Medeiros (1.900.820 m³) (AESA, 2011).

O principal uso de água na bacia é o abastecimento humano (urbano e rural). Verificam-se conflitos pelo uso da água na bacia, entre este uso e o uso da água para irrigação, em função de: (i) a não recuperação dos mananciais, em anos de baixa média pluviométrica, impedindo-os de atender a todas as demandas; e (ii) os déficits anuais de precipitação, que favorecem a salinização dos solos e das águas superficiais, tornando estas impróprias para alguns usos.

Coleta de dados para cálculo dos índices

Os dados necessários aos cálculos dos índices e formulação dos indicadores foram coletados por meio de pesquisa bibliográfica considerando, principalmente, documentos e relatórios de órgão públicos federais, estaduais e municipais, tais como IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba), e Prefeituras Municipais dos municípios inseridos na área de estudo. A necessidade de manter a consistência das informações, tendo em vista que o Plano Estadual de Recursos Hídricos refere-se ao ano de 2004, fez com que fossem considerados os dados para este ano.

A Tabela 6 apresenta os valores das demandas totais (atual, futura e reduzida), por município integrante da bacia em estudo.

O estabelecimento das demandas (e sua projeção para o ano 2023), por município da bacia hidrográfica em estudo, considerou o abastecimento humano (urbano e rural) e a dessedentação de animais, com base, respectivamente, em dados do IBGE (2004) e AESA (2011). Os usos de irrigação e industrial não puderam ser considerados, pela inexistência ou inconsistência de dados.

O cálculo das potencialidades hídricas superficiais foi efetuado com base nas vazões de contribuição de cada sub-bacia e nas vazões naturais dos açudes, com simulação mensal para o período de 1962 a 1991 (AESA, 2006). Os valores das disponibilidades hídricas (garantia de 90%) dos principais açudes foram obtidos do Plano Estadual de Recursos Hídricos (AESA, 2006) e são apresentados na Tabela 7, sendo indicadas as demandas dos municípios por eles abastecidos.

Tabela 6 – Demandas de abastecimento humano e dessedentação de animais, por município da bacia.

Município	Demanda (l/s)		
	Atual	Futura	Reduz.
Assunção	5,21	6,16	3,51
Boa Vista	5,54	6,41	3,64
Cacimbas	5,82	6,92	3,88
Desterro	13,88	18,35	9,85
Gurjão	8,24	9,94	5,85
Juazeirinho	19,11	28,30	11,12
Junco do Seridó	5,45	7,47	3,25
Livramento	12,37	16,31	8,88
Olivados	5,58	7,19	3,98
Pocinhos	12,43	16,36	9,01
Santo André	5,87	6,69	4,03
São João do Cariri	6,44	7,42	4,11
São José dos Cordeiros	10,18	12,07	6,35
Serra Branca	13,15	20,25	8,23
Soledade	22,12	34,29	14,22
Taperoá	22,80	32,66	13,52
Tenório	3,51	4,12	2,00
Bacia do rio Taperoá	177,70	240,92	115,15

Fonte: IBGE (2004); AESA (2011).

Obs.: Reduz. indica a demanda atual reduzida em 20%, em função da adoção de medidas de gestão.

Tabela 7 – Potencialidades, disponibilidades e demandas dos açudes da bacia do rio Taperoá.

Açude	Potenc (l/s)	Disp (l/s)	Dem (l/s)	M (n)
Mucutu	751,72	372,14	35,64	4
Soledade	496,34	162,69	22,12	1
Taperoá II	557,34	120,54	22,80	1
Santa Tereza	213,95	40,23	22,12	1
Salitre	62,70	20,01	12,37	1
Serra Branca*	39,58	18,01	13,15	1
Jeremias	80,78	18,52	19,70	2
Lagoa do Meio	143,16	36,21	41,91	2
Olivados	54,21	13,93	5,58	1
Boa Vista	110,73	11,17	17,97	2
Namorados	10,55	4,00	6,44	1
João Medeiros	51,30	3,35	8,24	1
S. José Cordeiros	146,94	3,16	10,18	1
Livramento	9,14	2,54	12,37	1
Gurjão	101,84	1,61	8,24	1
Barra	142,07	0,10	22,62	2

Fonte: Potenc, potencialidade; Disp, disponibilidade (90% de garantia); M, quantidade de municípios abastecidos pelo açude – dados da AESA (2006); Dem, demanda atual - dados do IBGE (2004); * Serra Branca I e II.

Tabela 8 – Valores linearizados e classificação dos índices do IPDD, por açude.

Açude	IADA		IADF		IADC		IAP		IUP		IUD	
	L1	L2	L1	L2	L1	L2	L1	L2	L1	L2	L1	L2
Mucutu	0,000 (MA)	0,420 (M)	0,000 (MA)	0,490 (M)	0,000 (MA)	0,434 (M)	0,000 (MB)	0,010 (MB)	0,995 (MA)	0,985 (MA)	1,000 (MA)	1,000 (MA)
Soledade	0,286 (A)	0,592 (M)	0,380 (A)	0,684 (B)	0,327 (A)	0,619 (B)	0,338 (B)	0,445 (B)	0,997 (MA)	0,987 (MA)	1,000 (MA)	1,000 (MA)
Taperoá II	0,494 (M)	0,706 (B)	0,518 (B)	0,754 (MB)	0,475 (M)	0,703 (B)	0,564 (M)	0,568 (M)	1,000 (MA)	0,990 (MA)	1,000 (MA)	0,999 (MA)
Salitre	0,845 (MB)	0,910 (MB)	0,940 (MB)	0,918 (MB)	0,868 (MB)	0,925 (MB)	0,356 (B)	0,362 (B)	0,881 (MA)	0,972 (MA)	0,998 (MA)	0,998 (MA)
Serra Branca	0,869 (MB)	0,924 (MB)	0,884 (MB)	0,941 (MB)	0,872 (MB)	0,927 (MB)	0,081 (MB)	0,090 (MB)	0,778 (A)	0,770 (A)	0,997 (MA)	0,997 (MA)
Jeremias	0,910 (MB)	0,948 (MB)	0,905 (MB)	0,951 (MB)	0,921 (MB)	0,955 (MB)	0,538 (M)	0,542 (M)	0,845 (MA)	0,837 (MA)	*	*
Lagoa do Meio	0,918 (MB)	0,952 (MB)	0,923 (MB)	0,961 (MB)	0,914 (MB)	0,951 (MB)	0,490 (M)	0,495 (M)	0,808 (MA)	0,800 (MA)	*	*
Oliveiros	0,761 (B)	0,862 (MB)	0,747 (B)	0,871 (MB)	0,794 (B)	0,884 (MB)	0,747 (A)	0,749 (A)	0,993 (MA)	0,983 (MA)	0,999 (MA)	0,998 (MA)
Boa Vista	0,941 (MB)	0,966 (MB)	0,936 (MB)	0,967 (MB)	0,948 (MB)	0,971 (MB)	0,585 (M)	0,589 (M)	0,779 (A)	0,771 (A)	*	*
Namorados	0,941 (MB)	0,966 (MB)	0,930 (MB)	0,964 (MB)	0,943 (MB)	0,968 (MB)	0,234 (B)	0,242 (B)	0,566 (M)	0,560 (M)	*	*
João Medeiros	0,961 (MB)	0,978 (MB)	0,956 (MB)	0,978 (MB)	0,965 (MB)	0,980 (MB)	0,869 (MA)	0,871 (MA)	0,909 (MA)	0,900 (MA)	*	*
S. José Cordeiros	0,971 (MB)	0,983 (MB)	0,966 (MB)	0,983 (MB)	0,971 (MB)	0,984 (MB)	0,958 (MA)	0,958 (MA)	0,978 (MA)	0,969 (MA)	*	*
Livramento	0,981 (MB)	0,989 (MB)	0,980 (MB)	0,990 (MB)	0,984 (MB)	0,991 (MB)	0,439 (M)	0,445 (M)	0,000 (MB)	0,000 (MB)	*	*
Gurjão	0,982 (MB)	0,989 (MB)	0,979 (MB)	0,989 (MB)	0,983 (MB)	0,991 (MB)	0,969 (MA)	0,970 (MA)	0,970 (MA)	0,960 (MA)	*	*
Barra	1,000 (MB)	1,000 (MB)	1,000 (MB)	1,000 (MB)	1,000 (MB)	1,000 (MB)	1,000 (MA)	1,000 (MA)	0,910 (MA)	0,901 (MA)	*	*

Obs.: Classificação: (MA), Muito Alto; (A), Alto; (M), Médio; (B), Baixo; (MB), Muito Baixo. L1/L2, linearização 1 ou 2; *, indica demanda superior às disponibilidades (classificação: Muito Baixo).

O Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba – CBH-PB, em cuja área de atuação está inserida a bacia do rio Taperoá, foi instalado em 2007. Das outorgas concedidas pela AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba, na área da bacia do rio Taperoá, 96% referem-se ao abastecimento humano, mas a fiscalização praticamente inexistente. A cobrança foi aprovada pelo CBH-PB (Deliberação 01/08) e pelo CERH – Conselho Estadual de Recursos Hídricos (Resoluções 07/09 e 11/11), mas o Decreto do Poder Executivo estadual (nº 33.613) - que a regulamenta - só foi assinado em dezembro de 2012.

Cálculo e classificação dos índices

Foram efetuados dois tipos de linearização dos índices componentes do Indicador de Potencialidades, Disponibilidades e Demandas (IPDD): (i) L1, tendo por referência a própria bacia do rio Taperoá; (ii) L2, tendo por referência a bacia do rio Taperoá e a bacia do rio Piranhas, onde se situa o maior reservatório do semiárido paraibano, o sistema Coremas-Mãe d'Água (disponibilidade de 4500 l/s). A Tabela 8 apresenta os valores e classificação dos índices do IPDD para os açudes da bacia. A

descrição da formulação desses índices está na Tabela 1. O objetivo foi permitir análises interna (comparação dos resultados obtidos para as sub-bacias da bacia hidrográfica do rio Taperoá) e externa (comparação no âmbito da região semiárida paraibana) do desempenho dos índices. Os resultados da Tabela 8 confirmam a variação dos índices na faixa de zero a um conforme o estabelecimento das escalas parciais desses índices, ou seja: (i) os índices IADA (Índice de Abastecimento da Demanda Atual), IADF (Índice de Abastecimento da Demanda Futura) e IADC (Índice de Abastecimento da Demanda Controlada) variam de 0 (situação desejável) a 1 (situação crítica); e (ii) os índices IAP (Índice de Ativação das Potencialidades), IUP (Índice de Utilização das Potencialidades) e IUD (Índice de Utilização das Disponibilidades) variam de 1 (situação desejável) a 0 (situação crítica). A Tabela 8 mostra, para o IUD, que há situações em que a demanda é superior à disponibilidade - o que resulta em um grau Muito Baixo para esse índice para 9 dos 15 açudes analisados.

Em relação ao Índice de Outorga (IO) – componente do Indicador de Desempenho do Sistema de Gestão de Recursos Hídricos (IGRH) - a classificação para sub-bacias e açudes está na Tabela 9. Os resultados da Tabela 9 permitem verificar que, tanto para os açudes (IO_A), quanto para as sub-bacias (IO_S), o Índice de Outorga varia de Muito Baixo (em função de deficiências no sistema de outorga implantado) a Médio (este último grau, apenas para os açudes Lagoa do Meio e Boa Vista, e para a sub-bacia Boa Vista).

Dos índices componentes do Indicador de Desempenho do Sistema de Gestão de Recursos Hídricos, o Índice de Outorga (IO) é o único que apresenta diferenças em relação à escala macro, visto que o Índice de Cobrança (IC) e o Índice de Comitê de Bacia Hidrográfica (ICBH) têm a mesma classificação nas escalas macro e micro.

Assim, em nível de bacia hidrográfica, considerando-se as escalas parciais:

- I. Índice de Comitê de Bacia Hidrográfica (ICBH): *Médio* (comitê instalado e baixo índice de solução de problemas na bacia);
- II. Índice de Outorga (IO): *Médio* (outorga implantada, baixo índice de fiscalização e de redução do consumo de água); e
- III. Índice de Cobrança (IC): *Baixo* (cobrança proposta em decreto, em processo de implantação).

- IV. Os resultados da Tabela 9 permitem verificar que, tanto para os açudes (IO_A), quanto para as sub-bacias (IO_S), o Índice de Outorga varia de Muito Baixo (em função de deficiências no sistema de outorga implantado) a Médio (este último grau, apenas para os açudes Lagoa do Meio e Boa Vista, e para a sub-bacia Boa Vista).

Tabela 9 – Valores e classificação do Índice de Outorga (IO) do IGRH, por açude e sub-bacia.

Sub-bacia	Açude/ (Disp) (l/s)	Out (l/s)	IO _A	IO _S
Taperoá	Jeremias (18,52)	23,44	MB	MB
	Taperoá II (120,54)	22,89	B	
Lagoa do Meio	Lagoa do Meio (36,21)	24,03	M	B
Livramento	Livramento (2,54)	21,72	MB	MB
	Salitre (20,01)	0,00	MB	
	Barra (0,10)	24,00	MB	MB
Mucutu	Mucutu (372,14)	0,00	MB	
	S. José dos Cordeiros (3,16)	3,64	MB	MB
Farias	Namorados (0,00)	5,14	MB	MB
Serra Grande	Serra Branca I (18,01)	0,00	MB	MB
	Serra Branca II (0,00)	18,44	MB	
Boa Vista	Boa Vista (11,17)	6,89	M	M
Soledade	Gurjão (1,61)	4,17	MB	MB
	Olivedos (13,93)	4,72	B	
	Soledade (162,69)	0,00	MB	
	João Medeiros (3,35)	0,00	MB	

Obs.: Classificação: (MA), Muito Alto; (A), Alto; (M), Médio; (B), Baixo; (MB), Muito Baixo. Açude/Disp, nome do açude e sua disponibilidade (90%); Out, vazão outorgada; IO_A, Índice de Outorga do açude; IO_S, Índice de Outorga da sub-bacia.

Tabela 10 – Valores e classificação dos índices do IEUA, por município.

Município					
IDAP (%)	IDASA (%)	ILE (%)	ITE (%)	ITRS (%)	IPAR (%)
Assunção					
26,73 (B)	50,6 (M)	42,3 (M)	42,3 (M)	72,5 (A)	-
Boa Vista					
20,2 (B)	0,0 (MB)	2,2 (MB)	0,0 (MB)	46,9 (M)	50,6 (M)
Cacimbas					
27,4 (B)	24,9 (B)	0,7 (MB)	0,7 (MB)	19,9 (MB)	-
Desterro					
9,6 (MB)	56,8 (M)	22,0 (B)	22,0 (B)	46,8 (M)	88,6 (MA)
Gurjão					
11,4 (MB)	60,9 (A)	7,2 (MB)	7,2 (MB)	61,6 (A)	24,6 (B)
Juazeirinho					
9,0 (MB)	0,3 (MB)	32,4 (B)	32,4 (B)	47,9 (M)	33,8 (B)
Junco do Seridó					
8,4 (MB)	63,0 (A)	39,5 (B)	39,5 (B)	60,1 (A)	51,9 (M)
Livramento					
7,4 (MB)	33,2 (B)	7,3 (MB)	7,3 (MB)	27,6 (B)	40,2 (M)
Olivedos					
0,9 (MB)	30,7 (B)	14,7 (MB)	14,7 (MB)	43,9 (M)	80,4 (MA)
Pocinhos					
10,7 (MB)	44,7 (M)	21,4 (B)	21,4 (B)	50,6 (A)	67,2 (A)
Santo André					
8,6 (MB)	0,0 (MB)	4,3 (MB)	4,3 (MB)	24,2 (B)	-
São João do Cariri					
40,3 (M)	42,3 (M)	29,3 (B)	29,3 (B)	43,8 (M)	56,8 (M)
São José dos Cordeiros					
32,6 (B)	35,8 (B)	4,6 (MB)	4,6 (MB)	34,6 (B)	52,0 (M)
Serra Branca					
19,7 (MB)	0,1 (MB)	8,3 (MB)	8,3 (MB)	50,5 (M)	35,2 (B)
Soledade					
6,2 (MB)	28,2 (B)	56,8 (M)	56,8 (M)	68,5 (A)	61,9 (A)
Taperoá					
11,1	56,5	57,8	57,8	59,5	69,6

(MB)	(M)	(M)	(M)	(M)	(A)
Tenório					
1,8 (MB)	51,6 (M)	9,5 (MB)	9,5 (MB)	27,5 (B)	-

Obs.: - indica que não há informações para o município; Classificação: (MA), Muito Alto; (A), Alto; (M), Médio; (B), Baixo; (MB), Muito Baixo.

Os índices que compõem o Indicador de Eficiência do Uso da Água (IEUA), calculados por município, estão apresentados na Tabela 10. É importante observar que:

- I. mais da metade dos municípios tem cobertura de serviço de abastecimento público (IDASA) variando de Muito Baixa a Baixa, havendo um município (Boa Vista) onde este índice é igual a zero;
- II. a grande maioria dos municípios praticamente não conta com serviço de coleta e tratamento de esgotos (ILE e ITE variando de Muito Baixo a Baixo), embora os municípios de Assunção, Soledade e Taperoá apresentem um grau Médio, para estes índices;
- III. as perdas de água na rede são expressivas, com o IPAR variando de Baixo a Muito Alto (caso dos municípios de Desterro e Olivedos, onde as perdas são superiores a 80% da água captada).

Os índices do IEUA para as sub-bacias equivalem à média dos índices dos municípios que as compõem, a saber: (i) Sub-bacia Taperoá (Cacimbas, Desterro e Taperoá); (ii) Sub-bacia Lagoa do Meio (Taperoá); (iii) Sub-bacia Livramento (Livramento); (iv) Sub-bacia Mucutu (Assunção, Juazeirinho, Junco do Seridó, Santo André e Tenório); (v) Sub-bacia Cordeiros (São José dos Cordeiros); (vi) Sub-bacia Farias (São João do Cariri); (vii) Sub-bacia Serra Grande (Serra Branca); (viii) Sub-bacia Boa Vista (Boa Vista e Pocinhos); e Sub-bacia Soledade (Gurjão, Olivedos e Soledade).

Definição do grau de sustentabilidade hídrica

A classificação dos indicadores é apresentada na Tabela 11, por sub-bacia e para a bacia do rio Taperoá.

Tabela 11 – Classificação dos indicadores.

Sub-bacia			
IPDD		IGRH	IEUA
L1	L2		
Taperoá			
B	MB	B	B
Lagoa do Meio			
MB	B	B	M
Livramento			
MB	MB	B	B
Mucutu			
B	MB	B	B
Cordeiros			
B	B	B	B
Farias			
MB	B	B	M
Serra Grande			
MB	B	B	B
Boa Vista			
MB	B	M	B
Soledade			
B	B	B	B
Bacia do rio Taperoá			
MB	MB	M	B

Obs.: IPDD, Indicador de Potencialidade, Disponibilidade e Demanda (calculado com base nos índices dos açudes); IGRH, Indicador de Desempenho do Sistema de Gestão de Recursos Hídricos; IEUA, Indicador de Eficiência do Uso da Água; L1/L2, Linearização 1 ou 2; Classificação: MB, Muito Baixo; B, Baixo; M, Médio.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados são analisados, considerando os resultados individuais de cada indicador, por nível de planejamento, para permitir que sejam sugeridas ações de gestão para aumentar a sustentabilidade hídrica da bacia. Assim, pode ser verificado que:

- I. na escala macro (bacia), o IPDD apresenta grau de sustentabilidade Muito Baixo, retratando a realidade de demandas bem superiores à disponibilidade de água, não estando o potencial da bacia completamente ativado; no entanto, na escala micro (sub-bacia) o grau de sustentabilidade já varia de Muito Baixo a Baixo, enquanto que, na escala micro (açude), verificam-se casos que se diferenciam desta realidade, como os dos

açudes Mucutu, Soledade e Taperoá II, com disponibilidade e potencialidade alta e demandas satisfatoriamente atendidas;

- II. o IGRH também apresenta algumas diferenças em função do nível de planejamento considerado. Assim, embora em nível da bacia possa ser considerado um grau médio para este indicador (Comitê instalado, cobrança em fase de implantação, outorga implantada, embora com problemas de fiscalização), para a maioria das sub-bacias, o IGRH é baixo, em função dos problemas detectados em relação à outorga;
- III. o IEUA apresenta grau baixo para a bacia, como resultado das péssimas condições de saneamento vigentes (conforme demonstrado pelos índices calculados) na maioria dos municípios; no entanto, as sub-bacias Lagoa do Meio e Farias destoam desse resultado global, com IEUA médio.

Em relação à sustentabilidade hídrica da bacia hidrográfica do rio Taperoá, é incontestável – qualquer que seja o nível de planejamento considerado (e mesmo levando em conta os casos isolados) e quaisquer que sejam os aspectos analisados – que a situação é crítica: baixa potencialidade, baixa disponibilidade, demandas crescentes, ausência ou inadequação da gestão de recursos hídricos, uso ineficiente da água disponível (em especial pelas grandes perdas na rede de abastecimento e pelo nível de poluição provocado pela inexistência dos serviços de coleta e tratamento de esgotos).

Em função desses resultados, verifica-se a necessidade premente da efetiva implantação da gestão de recursos hídricos na bacia do rio Taperoá, com uma atuação mais expressiva do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba [o qual tem encontrado dificuldades de funcionamento, conforme assinalado por Ribeiro (2012)], definindo prioridades em relação aos aspectos a serem abordados através das ações de gestão (podendo ser determinada uma hierarquização dos indicadores, com atribuição de pesos que lhes definam a importância relativa).

Com base nas fragilidades detectadas pelos indicadores, algumas ações de gestão são sugeridas, visando à melhoria da sustentabilidade hídrica da bacia: (i) maior eficiência no gerenciamento e operação dos açudes (redução dos espelhos de água, de maneira a reduzir as perdas por evaporação; sistema de outorga adequado às limitações climáticas da região, com redução do volume outorgado em fun-

ção dos volumes armazenados; entre outras medidas); (ii) aplicação (e fiscalização) correta dos instrumentos da política de recursos hídricos, notadamente a outorga (a ser feita com base em um sistema de informações atualizado) e a cobrança, além de medidas de gestão da demanda de água, visando ao uso racional da água e à resolução dos conflitos entre usos/usuários; (iii) adoção de programas de educação ambiental, aumentando a consciência da população em relação aos recursos hídricos; (iv) aumento da cobertura dos serviços de abastecimento de água (com a necessária redução das perdas) e de coleta e tratamento de esgotos.

CONCLUSÃO

Este artigo apresenta uma metodologia de construção de indicadores de sustentabilidade hídrica de bacias hidrográficas – de maneira a sintetizar informações sobre a capacidade de atendimento das demandas (Indicador de Potencialidade, Disponibilidade e Demanda - IPDD), o desempenho da estrutura de gestão hídrica (Indicador de Desempenho do Sistema de Gestão de Recursos Hídricos - IGRH) e a eficiência com que se dá o uso da água disponível (Indicador de Eficiência do Uso da Água - IEUA) – considerando quatro níveis de planejamento (bacia, sub-bacia, município e açude).

A aplicação da metodologia à bacia hidrográfica do rio Taperoá, situada na porção semiárida do Estado da Paraíba – determinando a baixa sustentabilidade hídrica da bacia– permite concluir que esses indicadores são ferramentas confiáveis para diagnosticar a sustentabilidade hídrica de uma bacia hidrográfica e apoiar a tomada de decisão na gestão de recursos hídricos. A importância da adoção dos vários níveis de planejamento é demonstrada pelas diferenças encontradas para o caso de estudo: eles permitem, por exemplo, o direcionamento de ações de gestão para aqueles açudes/municípios/sub-bacias em condições menos favoráveis, ou, ainda, para aqueles aspectos mais críticos.

Os resultados enfatizam a importância do fortalecimento do sistema estadual de gestão de recursos hídricos, de modo a garantir o uso eficiente e racional dos recursos hídricos e uma melhor qualidade de vida à população, não apenas da bacia hidrográfica do rio Taperoá, mas de todo o Estado da Paraíba.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e a CAPES/PNPD, pelas bolsas concedidas a primeira e terceira autoras, respectivamente.

REFERÊNCIAS

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. (2006). *Plano Estadual de Recursos Hídricos. Resumo Executivo*. João Pessoa: AESA.

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado Paraíba. (2011). *Diretoria dos Comitês de Bacias Hidrográficas*. Disponível em <<http://www.aesa.pb.gov.br/>>. Acesso em: 30/07/2012.

BRAGA, T. M; FREITAS, A. P. G; DUARTE, G. S. (2003). *Índice de Sustentabilidade Municipal: O desafio de mensurar*. Belo Horizonte-MG: CEDEPLAR/FACE/ UFMG. 22p.

CALIJURI, M.L.; SANTIAGO, A.F.; CAMARGO, R.A. *et al.* (2009). Estudo de indicadores de saúde ambiental e de saneamento em cidade do Norte do Brasil. *Engenharia Sanitária & Ambiental*, v. 14, n. 1, p. 19-28.

CAMPOS, L. M. S; MELO, D. A.; MEURER, S. A. (2007). *A importância dos indicadores de desempenho ambiental nos Sistemas de Gestão Ambiental (SGA)*. In: IX ENGEMA - Encontro Nacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, Curitiba-PR.

CHRISTOFOLETTI, A. (1999). *Modelagem de Sistemas Ambientais*. Rio de Janeiro: Editora Edgard Blucher Ltda.265p.

ERCIN, A. E.; ALDAYA, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. (2011) Corporate water footprint accounting and impact assessment: the case of the water footprint of sugar-containing carbonated beverage. *Water Resources Management*, v. 25, pp. 721-741.

FOXON, T. J. (2002). Sustainability Criteria for Decision Support in the UK Water Industry. *Journal of Environmental Planning and Management*. p. 285-301.

- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Perfil dos Municípios Brasileiros*. (2004). Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: jul. 2006.
- HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K. (2008) *Globalization of water: sharing the Planet's fresh water resources*. 1. ed. Oxford: Blackwell Publishing, 232p.
- LEMOS, L; SILVA, T.C. (2003). *Relação entre indicadores de salubridade ambiental e de desenvolvimento humano em municípios da Bacia do Taperoá, Estado da Paraíba*. In: XI Silubesa – Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Natal: ABES.
- LIMA, H. V. C; LIMA, L. C. T. M; LIMA, F. P. F. (2000). *Desenvolvimento Sustentável através de Gestão Participativa dos Recursos Hídricos no Semi-Árido*. In: V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Natal: ABRH.
- LIRA, W. S. (2008) *Sistema de Gestão do Conhecimento para Indicadores de Sustentabilidade – SIGECIS: Proposta de uma metodologia*. Campina Grande – PB. 2008. 178 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande.
- LOUCKS, D. (1999). *Sustainability Criteria for Water Resource Systems*. International Hydrology Series. Cambridge, UK: UNESCO.
- MITCHELL, G. (2004). Problems and fundamentals of sustainable development indicators. *Sustainable Development*, 4 (1): 1-11.
- OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico. Comissão Brundtland. (1987). *Towards Sustainable Development – Indicators to Measure Progress*. In: OCDE Rome Conference.
- RIBEIRO, M. A. F. M. (2012). *Participação pública em gestão de recursos hídricos: uma análise do caso paraibano*. 167 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande-PB.
- ROMEIRO, A. R. (Org.). (2004). *Avaliação e contabilização de impactos ambientais*. São Paulo: Editora da UNICAMP.
- SICHE, R.; AGOSTINHO, F.; ORTEGA, E.; ROMEIRO, A. (2007). *Índices versus indicadores: Precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países*. *Revista Ambiente & Sociedade*, v. 10. n. 2. p. 137-148.
- SILVA, A. M.; CORREIA, A. M. M.; CÂNDIDO, G. A. (2010) Ecological Footprint Method: Avaliação da Sustentabilidade no Município de João Pessoa, PB. In: CÂNDIDO, G. A. (Org.). *Desenvolvimento Sustentável e Sistemas de Indicadores de Sustentabilidade: Formas de aplicações em contextos geográficos diversos e contingências específicas*. Campina Grande: UFCG, p.236-271.
- SILVA, T. C.; PINTO, M. V. C. V.; CYSNEIROS, D. (2000). *Zoneamento Ecológico Econômico do Estado da Paraíba – Região do Cariri Ocidental – Climatologia*. João Pessoa: SUDEMA/PB.
- TAO L.; ZHANG, H.; YUAN C.; LIU, Z.; FAN, C. (2012). *A PCA-based method for construction of composite sustainability indicators*. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 17, n. 3.
- VAN ZEIJL-ROZEMA, A.; MARTENS, P. (2010). An adaptive indicator framework for monitoring regional sustainable development: a case study of the INSURE Project in Limburg, the Netherlands. *Sustainability: Science, Practice & Policy*, v. 6, n. 1. p. 6-17.
- VIEIRA, V. (2003). Desafios da Gestão Integrada de Recursos Hídricos no Semi-Árido. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 8, n.2. p.7-17.
- VIEIRA, V. (2002). Sustentabilidade do Semi-Árido Brasileiro: Desafios e Perspectivas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 7, n. 4. p. 105-112.

Water Resources Management Using Sustainability Indicators

ABSTRACT

This article proposes a methodology for analyzing river basin water sustainability, through the use of indicators. Considering the basin at macro (basin) and micro (sub-basin, municipality, reservoir) planning levels, the analysis is based on three indicators – Indicator of Potentiality, Availability and Demand; Indicator of Water Resources Management System Performance; and Indicator of Water Use Efficiency – and their respective indexes. Indicators and their indexes are classified based on global and partial scales which are composed by five sustainability degrees: very high, high, medium, low and very low. The

proposed methodology is applied to the Taperoá River basin which is located in the State of Paraíba semi-arid portion. The outcomes show that: (i) different results may be achieved depending on the planning level considered; and (ii) the river basin in the case study presents a low degree of water sustainability; besides they allow water management actions to be suggested in order to support decision-making of the entities responsible for this management.

Key-words: *Indicators, water sustainability, river basin.*