



09 a 11 de dezembro de 2015
Auditório da Universidade UNIT
Aracaju - SE

CONSTRUÇÃO E VALIDAÇÃO DO COMPONENTE HIDROLÓGICO DE UM ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAPARATUBA EM SERGIPE.

Isabella Ferreira Nascimento Maynard¹, Marcus Aurélio Soares Cruz², Laura Jane Gomes³

¹ Mestrado em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Sergipe, Aracaju, Brasil, isabellafnm@hotmail.com

² Pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, Brasil, marcus.cruz@embrapa.br

³ Professora do Departamento de Ciências Florestais da UFS, Aracaju, Brasil, laurabuturi@gmail.com.br.

Resumo

O índice de sustentabilidade tem sido utilizado como importante ferramenta no processo de gestão dos recursos hídricos e pode expressar a situação de uma bacia hidrográfica, em um determinado espaço temporal, em dados quantitativos, tornando a análise desta situação mensurável. Este trabalho teve como objetivo calcular um índice de sustentabilidade hídrica para a bacia hidrográfica do rio Japarutuba, no Estado de Sergipe. A bacia hidrográfica do rio Japarutuba tem área igual a 1.687,67 Km² e é composta por 18 municípios e três sub-bacias (Rio Japarutuba, Siriri e Japarutuba Mirim), onde as atividades produtivas que se destacam são a exploração mineral e a agropecuária. O procedimento metodológico utilizado é uma adaptação do Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas (WSI), considerando apenas a dimensão hidrológica, analisando tanto a qualidade quanto a quantidade dos recursos hídricos da bacia em estudo. Os indicadores foram organizados através da estrutura Pressão-Estado-Resposta. Assim, o índice de sustentabilidade hídrica calculado para a bacia a bacia hidrográfica do rio Japarutuba em horizonte temporal de cinco anos (2005 e 2010) foi de 0,33, o que indica que a bacia está em um nível baixo em relação à sustentabilidade. Destaca-se que os indicadores hidrológicos-quantitativos foram os mais críticos, que está relacionado a baixa disponibilidade hídrica per capita. Esta pesquisa contou ainda com a realização de uma oficina de validação dos seus resultados, através da adaptação da metodologia Avaliação por comitê especialista, que, neste caso, os especialistas foram os membros do Comitê da Bacia Hidrográfica do rio Japarutuba, do Conselho Estadual de Recursos Hídricos, técnicos da EMBRAPA e da Superintendência de Recursos Hídricos e a sociedade civil interessada. Assim, a validação do índice de sustentabilidade hídrica encontrado para a bacia hidrográfica do rio Japarutuba consistiu em apresentar para os participantes da oficina de validação, como o índice foi construído, quais as informações obtidas, e por fim, colocar todas estas questões em debate. Após a finalização do debate, os 21 especialistas participantes, validaram os resultados obtidos e ressaltaram a relevância da troca de informações entre as universidades, gestores e a sociedade organizada, de modo a contribuir para uma gestão eficiente. Com a identificação das fragilidades da bacia em estudo, a presente pesquisa gerou informações que poderão contribuir para a gestão sustentável dos recursos hídricos.

Palavras-chave: Índice, Gestão dos Recursos Hídricos, Validação.

1. INTRODUÇÃO

A problemática hídrica já é destaque em todo o mundo. Tendo em vista que o Brasil é detentor de aproximadamente uma parcela significativa da água doce do planeta, ainda sim, o país passa por uma crise recente em relação a qualidade e quantidade (distribuição) dos seus recursos.

A sustentabilidade dos recursos hídricos exige atender às necessidades dos diversos usos da água (uso doméstico, irrigação, industrial, recreação e energia) sobre a qual o desenvolvimento econômico depende e ao mesmo tempo, a proteção ao meio ambiente e melhoraria das condições sociais [1].

Detectar impactos humanos sobre os sistemas fluviais é um desafio por causa da diversidade biológica, química, componentes hidrológicos e geofísicos que devem ser avaliadas [2]. Os indicadores são importantes ferramentas que podem auxiliar esta identificação e contribuir para a gestão sustentável dos recursos ambientais; analisando-os de forma integrada, os indicadores podem orientar a formulação de políticas e fornecer informações valiosas [3].

Para avaliar o estado de uma bacia hidrográfica, é preciso compreender indicadores quantitativos e qualitativos que determinam o nível de sustentabilidade de uma bacia hidrográfica [4]. Os indicadores podem executar várias funções dentre elas, simplificar, clarificar e tornar a informação agregada disponível para os gestores públicos. Podem ajudar a incorporar a ciência física e social no processo de tomada de decisão, fornecer um diagnóstico tendo em vista alternativas econômicas, sociais e ambientais e podem ajudar a medir o progresso em direção às metas de desenvolvimento sustentável [5].

O uso de indicadores de sustentabilidade pode auxiliar o Monitoramento da Gestão dos Recursos Naturais, e são instrumentos com objetivo de agregar dados e informações complexas, facilitando assim, a sua compreensão. Desta forma, para o objeto de estudo deste trabalho, os recursos hídricos, o desenvolvimento de indicadores busca mensurar como e quanto à gestão hídrica está caminhando sob a ótica da sustentabilidade, observando os reflexos das ações implementadas na bacia hidrográfica, que é a unidade de gerenciamento dos recursos hídricos adotada no Brasil [6].

Os indicadores de desenvolvimento sustentável são ferramentas indispensáveis para o conhecimento da realidade, particularidades, características e aplicações dos diferentes sistemas. Além disso, os indicadores proporcionam uma melhor democratização no acesso à informação, pois no geral, são bem diretos e de fácil compreensão, permitindo que a sociedade se aproprie deste conhecimento e conseqüentemente incorpore as questões relativas à sustentabilidade no seu cotidiano [7].

Dentro desta ótica, propõe-se a análise do componente hidrológico da bacia hidrográfica do rio Japaratuba, no Estado de Sergipe, através de uma adaptação do Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas (WSI), considerando apenas a dimensão hidrológica, analisando tanto a qualidade quanto a quantidade dos recursos hídricos da bacia em estudo.

2. OBJETIVO

Avaliar e validar o índice componente hidrológico em relação a sustentabilidade da bacia hidrográfica do rio Japaratuba por meio de uma adaptação ao índice de sustentabilidade para bacias hidrográficas.

3. MÉTODOS E MATERIAIS

3.1 Área de Estudo

Esta pesquisa teve como unidade de estudo, a bacia hidrográfica do rio Japaratuba, localizada no território leste do estado de Sergipe, com uma área de 1.687,67 km² [8] possui 18 municípios inseridos parcial ou totalmente na bacia, sendo eles: Aquidabã, Barra dos Coqueiros, Capela, Carmópolis, Cumbe, Divina Pastora, Feira Nova, General Maynard, Graccho Cardoso, Japaratuba, Malhada dos Bois, Maruim, Muribeca, Nossa Senhora das Dores, Pirambu, Rosário do Catete, Santo Amaro das Brotas e Siriri. Com população total de 119.689 habitantes, sendo 79.012 habitantes urbanos e 40.677 habitantes rurais [9].

O uso atual da água da bacia hidrográfica do rio Japaratuba está relacionado com as atividades de abastecimento público, apresentando baixos índices de atendimento aos domicílios, com um ponto de captação de água superficial no rio Siriri Vivo, que abastece o Sistema Nossa Senhora das Dores, outro ponto na nascente do riacho do Prata que abastece o Sistema Japaratuba. As águas também são utilizadas para o abastecimento industrial; afastamento de efluentes domésticos, industrial e agroindustrial; pesca; irrigação; atividades de turismo e lazer e exploração de petróleo, potássio e sódio [10].

Esta bacia possui uma importância estratégica para o estado de Sergipe, pois abriga o maior campo petrolífero terrestre do país, o campo de Carmópolis, com mais de 150km² e 1.200 poços, que faz uso da porção inferior do rio Japaratuba para o despejo das águas residuárias do processo de exploração, causando alterações significativas na biota do rio, resultado da presença de metais na água e no sedimento [11].

A implantação de indústrias de mineração e exploração de petróleo na bacia hidrográfica do rio Japaratuba, provocou alterações físicas, econômicas e sociais, em decorrência da forma de utilização da bacia hidrográfica do rio Japaratuba que a modificou desde o subsolo à superfície, moldando, inclusive o relevo, com a derrubada de morros e colinas para adequar às suas necessidades exploratórias. Os problemas ambientais na bacia hidrográfica do rio

Japaratuba tem se exposto com relativa gravidade, decorrente principalmente pelo processo de ocupação humana, seja do ponto de vista urbano, quanto agroindustrial e industrial [10].

Cruz et al. [8] revelam que o rio principal da bacia, que também recebe o nome de Japaratuba encontra-se em um estado preocupante, pois foram identificados processos de degradação avançados em alguns trechos, que são fruto dos avanços históricos nas atividades agropecuárias, de extração mineral e despejos industriais sem o devido controle. E ressaltam ainda, que a bacia do rio Japaratuba, apresenta uma baixa disponibilidade hídrica e mesmo assim, tem usos múltiplos da água superficial intensos, destacando-se a utilização da água nas atividades de exploração mineral, principalmente de petróleo/gás e potássio, abastecimento humano e irrigação.

3.1 Procedimentos metodológicos

A metodologia base desta pesquisa é uma adaptação a proposta por Chaves e Alipaz [12], que se refere ao índice de sustentabilidade para bacias hidrográficas, no inglês Watershed Sustainability Index (WSI) e faz uma análise temporal considerando um horizonte de cinco anos. Tal metodologia utiliza o modelo conhecido como HELP proposto pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO), onde a sua composição é formada por meio de quatro dimensões: hidrológica (H - hydrology), ambiental (E - environment), social (L - life) e política (P - policy). Além disso, os autores também estruturaram os indicadores em matriz causa-efeito: Pressão-Estado-Resposta (PER) da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico [13].

A estrutura Pressão-Estado-Resposta [13] foi adotada como marco ordenador para apresentar indicadores ambientais (Quadro 1). Esse modelo assenta-se sobre a noção de causalidade das pressões que as atividades antrópicas exercem sobre o meio ambiente, modificando a qualidade e a quantidade dos recursos naturais (o estado do meio ambiente). Como respostas a essas alterações ambientais, a sociedade adota medidas de políticas de meio ambiente, econômicas e setoriais [14].

Porém, neste trabalho foi calculado apenas a dimensão hidrológica quantitativa e qualitativa para a obtenção do índice de sustentabilidade hidrológica por meio de indicadores quantitativos e qualitativos.

		Pressão	Estado	Resposta
Indicador		Parâmetros		
Hidrológico	Quantit.*	Varição na disponibilidade de água per capita na bacia no período (2005 e 2010)	Disponibilidade de água per capita na bacia (2010)	Evolução na eficiência do uso da água (2005 e 2010)
	Qualit.**	Varição do Índice de Qualidade de Água (IQA)* na bacia (2005 e 2010).	Média anual do Índice de Qualidade de Água na bacia (2010).	Evolução no tratamento de esgoto (2005 e 2010).

Quadro 1. Estrutura do indicador hidrológico , quanto a Pressão, Estado e Resposta. Adaptado [12]

*Quantit.: são os parâmetros hidrológicos indicativos de quantidade de água na bacia.

**Qualit.: são os parâmetros hidrológicos indicativos da qualidade de água na bacia.

Desta forma, o valor individual de cada parâmetro pode variar de 0 a 1, onde 0 significa uma pior situação do indicador e 1, uma melhor situação. Assim, o indicador hidrológico (H) também varia de 0-1, em escalas (0, 0.25, 0.50, 0.75, 1) conforme os Quadros de pontuação 02, 03 e 04[12].

Os indicadores de *Pressão* (Quadro 2) tratam de pressões ambientais exercidas por atividades antrópicas, diretas ou indiretas; estão intimamente relacionados com padrões de produção e consumo, que muitas vezes refletem a intensidade da utilização de recursos naturais, juntamente com as tendências e mudanças ao longo de um determinado período. Eles podem ser usados para mostrar o progresso das atividades econômicas e do meio ambiente, por exemplo [13].

Indicador		Parâmetro	Nível	Pontuação
Hidrológico	Quantit.	Disponibilidade per capita de água na bacia (Wa) em m ³ /hab/ano.	Wa < 1700 1700 ≤ Wa < 3400 3400 ≤ Wa < 5100 5100 ≤ Wa < 6800 Wa ≥ 6800	0.00 0.25 0.50 0.75 1.00
	Qualit.	Índice de Qualidade de Água (IQA) atual.	0 ≤ IQA < 20 20 ≤ IQA < 37 37 ≤ IQA < 52 52 ≤ IQA < 80 80 ≤ IQA ≤ 100	0.00 0.25 0.50 0.75 1.00

Quadro 2. Pontuação para os indicadores de Pressão, quanto ao indicador, parâmetro e nível. Adaptado [12]

Os indicadores de *Estado* (Quadro 3) revelam as condições ambientais relacionadas com a qualidade e quantidade dos recursos naturais, o que possibilita uma visão geral da situação atual sobre o meio ambiente[13].

Indicador		Parâmetro	Nível	Pontuação
Hidrológico	Quantit.	Δ1- Variação da disponibilidade de água per capita, no período (m ³ /hab/ano).	Δ1 < -20% -20% ≤ Δ1 < -10% -10% ≤ Δ1 < 0% 0 ≤ Δ1 < +10% Δ1 ≥ +10%	0.00 0.25 0.50 0.75 1.00
	Qualit.	Δ2- Variação do IQA da bacia no período (média).	Δ2 < -10% -10% ≤ Δ2 < 0% 0 ≤ Δ2 < 10% 20% ≥ Δ2 > 10% Δ2 > 20%	0.00 0.25 0.50 0.75 1.00

Quadro 3. Pontuação para os indicadores de Estado, quanto ao indicador, parâmetro e nível. Adaptado [12]

O parâmetro *Resposta* (Quadro 4) refere-se tanto ao indivíduo quanto as ações governamentais e coletivas destinadas a mitigar e prevenir os efeitos negativos, em sua maioria, antrópicos e ainda, deter ou reverter os danos ambientais já causados, de modo a preservar e conservar a natureza e os recursos naturais [13].

Indicador		Parâmetro	Nível	Pontuação
Hidrológico	Quantit.	Evolução na eficiência de uso de água na bacia no período.	Muito Pobre Pobre Regular Boa Excelente	0.00 0.25 0.50 0.75 1.00
	Qualit.	Evolução no tratamento e disposição de esgotos na bacia, no período.	Muito Pobre Pobre Regular Boa Excelente	0.00 0.25 0.50 0.75 1.00

Quadro 4. Pontuação para os indicadores de Resposta, quanto ao indicador, parâmetro e nível. Adaptado [12]

Após a identificação dos níveis e seleção da pontuação para cada um dos indicadores dos Quadros 2, 3 e 4, o Índice do Componente Hidrológico (IH) é calculado através da média global, que é a média das colunas P,E,R e linhas H,E,L,P (Quadro 1). O valor do indicador quantitativo Hidrológico é descrito por média aritmética, assim como o qualitativo e o hidrológico global.

O resultado do IH é dado de acordo com a Equação 1, é classificado em baixo, médio e alto respectivamente: $IH < 0,5$; $0,5 \leq IH < 0,8$ e $IH \geq 0,8$ [15]. Interpreta-se que quanto maior o valor do índice melhor estará a sustentabilidade na bacia hidrográfica avaliada.

A Equação 1 representa a composição da dimensão hidrológica:

$$IH = (IH_{qt} + IH_{ql}) / 2 \quad (1)$$

IH = Indicador Hidrológico;

IH_{qt} = Subindicador quantidade de água;

IH_{ql} = Subindicador qualidade de água.

O subindicador de qualidade de água foi obtido através do trabalho de Marques [16] e o subindicador de quantidade de água, que foi obtido com base nas séries históricas de vazões na bacia hidrográfica do rio Japarutuba através do software HidroWeb da Agência Nacional de Águas [17]. Quando obtidos os valores dos dois subindicadores, estes foram compilados em um único valor, através da média aritmética.

O indicador hidrológico é de grande relevância para o cálculo do WSI, uma vez que avalia as características físicas e químicas da bacia hidrográfica, objeto de estudo em questão [4].

3.1. Subindicador quantidade de água

Neste subindicador, o parâmetro de *Pressão* é dado pela variação da disponibilidade de água per capita no período estudado (2005-2010) e o parâmetro *Estado* é dado pela disponibilidade de água per capita na bacia ($m^3/hab/ano$) para o ano de 2010. De acordo com Falkenmark e Widstrand [18] citado por Chaves e Alipaz [12], o estresse hídrico ocorre quando a disponibilidade de água cai abaixo de $1.700 m^3/hab/ano$.

Nesta pesquisa a disponibilidade hídrica foi calculada através da vazão média de longo período. De acordo com Alexandre e Martins [19], a vazão média de longo período é definida como a média das vazões médias anuais para toda a série de dados, sendo denominada como específica quando dividida pela área da bacia hidrográfica de interesse.

O cálculo da variação disponibilidade hídrica per capita em um intervalo de cinco anos foi obtido através da consulta a séries históricas longas de três estações fluviométricas disponibilizadas ao Estado de Sergipe pela Agência Nacional de Águas (Figura 1), situadas na bacia hidrográfica do rio Japarutuba [17].

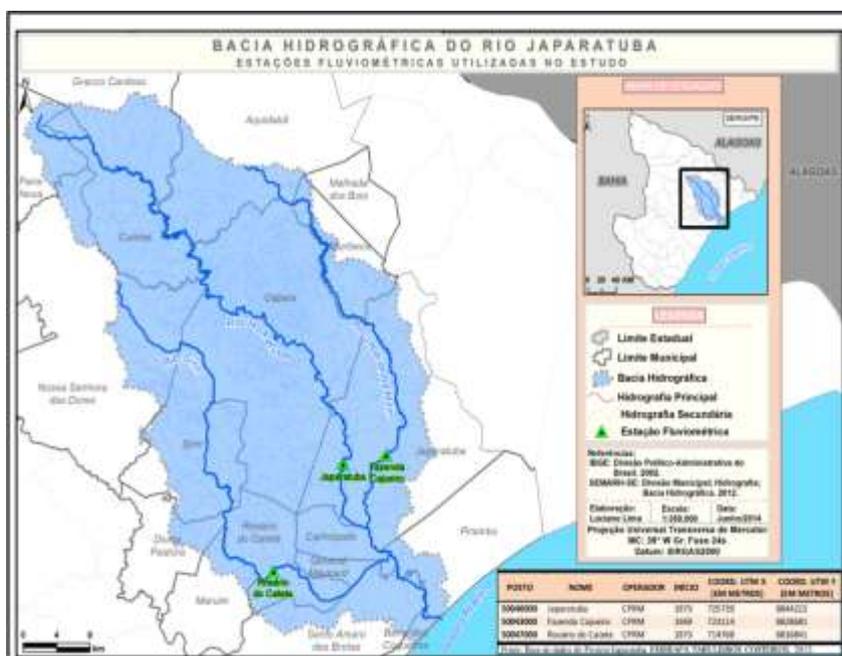


Fig. 1. Postos fluviométricos situados na bacia hidrográfica do rio Japarutuba.

Com as séries históricas de vazões nos três postos citados acima [17], calculou-se a vazão média de longo período específica para os três postos. Com a escassez de dados na foz da bacia hidrográfica do rio Japarutuba, no município de Pirambu, por não possuir estação fluviométrica, foi feita uma estimativa de valores a partir dos postos

fluviométricos próximos. De acordo com Collischonn e Tassi [20], este procedimento, quando realizado de forma cuidadosa e detalhada, dá-se o nome de regionalização hidrológica. A forma mais simples de regionalização hidrológica e utilizada nesta pesquisa é o estabelecimento de uma relação linear entre vazão e área de drenagem da bacia.

As áreas contribuintes utilizadas para o cálculo foram obtidas na Base de Dados do Projeto Japarutuba [21]. Desta forma, calculou-se a disponibilidade hídrica per capita por ano para os dados das séries históricas, considerando a série desde o início até o ano de 2005 e a série desde o início até 2010.

O parâmetro *Resposta* foi obtido através da evolução na eficiência de uso da água na bacia no período estudado (2005-2010), que utilizou o banco de dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento através do Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto do Ministério das Cidades [22], [23].

3.2. Subindicador qualidade de água

Para este subindicador foi feita uma adaptação; a metodologia utilizada por Chaves e Alipaz [12] utilizava como parâmetro de análise de qualidade de água, a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), na presente pesquisa utilizou-se para esta análise o Índice de Qualidade de Água (IQA), que também foi utilizado por Isaias [24] em sua proposta de Índice de Sustentabilidade para bacias hidrográficas.

O Índice de Qualidade de Água foi escolhido para representar este subindicador nos parâmetros *Pressão* e *Estado*, pela sua abrangência e contribuição para determinar a qualidade hídrica na área de estudo. Dentre várias metodologias utilizadas com o objetivo de determinar a qualidade da água, o Índice de Qualidade de Água (IQA) desenvolvido pela *National Sanitation Foundation* nos Estados Unidos [25] é utilizado pela Agência Nacional de Águas (ANA). O Índice de Qualidade de Água destaca-se por reunir em um único valor diversos parâmetros: temperatura, pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, coliformes termotolerantes, nitrogênio total, fósforo total, resíduos totais e turbidez.

Uma dificuldade encontrada foi que, assim como os dados de DBO, não há disponibilidade de IQA na foz da bacia com espaço temporal coincidente com o definido para o estudo nesta bacia. Assim optou-se por fazer uso dos valores disponíveis em estudos anteriores, que eram para os anos de 2009 e 2010. O parâmetro *Pressão* deste subindicador é constituído através da variação do Índice de Qualidade de Água da bacia para o período de 2009-2010, utilizando a média aritmética dos valores disponíveis do IQA para 2009 e 2010 [16], já que não foi encontrado na literatura dados anteriores a 2009 para o cálculo desta variação. O parâmetro *Estado* é dado pelo IQA atual da bacia, utilizando-se a média do IQA no ano 2010 de Marques [16].

De acordo com Franco e Hernandez (2012) [25], com informações quantificadas, é possível prever ações rápidas interdisciplinares no manejo da água em uma bacia hidrográfica e propor soluções aos tomadores de decisões sobre as condições dos recursos hídricos de uma região.

O parâmetro de *Resposta* quanto à qualidade de água na bacia é constituído pela Evolução no tratamento de esgoto na bacia no período estudado (2005-2010). Neste indicador qualitativo, fez-se uma análise ao Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento [22], [23].

3.3 Validação do Índice de Sustentabilidade para Bacias Hidrográficas (WSI)

Na literatura, buscaram-se metodologias que validaram seus resultados, em especial, com ênfase em índices de sustentabilidade. Porém não foi encontrado metodologias para a área do estudo em questão.

Vários estudos de índices de sustentabilidade encontrados utilizam em seus títulos o termo validação, mas não descrevem nos procedimentos metodológicos como ocorreu esta etapa. Diversos pesquisadores na área da saúde utilizam o método Validade de conteúdo para validar suas pesquisas; Lacerda, Levin, Oliveira, Garcia, e Turrini, [26], ressaltam que este método busca reconhecer se cada instrumento (indicador) mede o que se propõe a medir, em termos de capacidade e amplitude para representar as práticas sob avaliação, assim como o valor e consistência da medida.

De acordo com Alexandre e Coluci [27], a Avaliação por um comitê de especialistas é uma etapa do método de Validação de conteúdo, que consiste na avaliação do instrumento (indicador) por um grupo de especialistas, através de questionários, por exemplo.

Neste caso, o presente estudo, fez uma adaptação utilizando a Avaliação por comitê especialista, que, neste caso, foram membros do Comitê da Bacia Hidrográfica do rio Japarutuba, do Conselho Estadual de Recursos Hídricos, técnicos da EMBRAPA e da Superintendência de Recursos Hídricos e a sociedade civil interessada. Assim, a validação do Índice de Sustentabilidade encontrado para a bacia hidrográfica do rio Japarutuba consistiu em apresentar para os

participantes da oficina de validação, como o índice foi construído, quais as informações obtidas, e por fim, colocar todas estas questões em debate.

Cortés et al. [28], após a coleta de dados, sistematização e análise do Índice de Sustentabilidade para a bacia hidrográfica do rio Elqui, no Chile, realizou uma oficina de validação com as partes interessadas, tendo em vista a subjetividade de alguns indicadores, tais como o de Estado Político. Assim, acreditou-se ser de grande importância, realizar a validação dos resultados encontrados na presente pesquisa com o apoio do Comitê da bacia hidrográfica do rio Japarutuba, gestores, técnicos e a sociedade interessada.

O Comitê da bacia hidrográfica do rio Japarutuba foi instituído pelo decreto nº 24.650 de 30 de Agosto de 2007, visando promover, no âmbito da gestão de recursos hídricos, a viabilização técnica e econômico-financeira de programa de investimento e consolidação de política de estruturação urbana e regional, com vistas ao desenvolvimento sustentado da mesma Bacia Hidrográfica.

4. RESULTADOS E CONCLUSÕES

4.1. Subindicador quantidade de água

Para obter o indicador *Pressão* de quantidade de água, calculou-se a disponibilidade hídrica per capita para o ano de 2005 e 2010, respectivamente 2.645m³/hab/ano e 2.643 m³/hab/ano; sendo a variação da disponibilidade hídrica per capita para o período estudado (2005 e 2010) igual a -0,07%, o que significa uma pequena redução na disponibilidade de água per capita, resultando em uma pontuação de 0.50.

A redução da disponibilidade hídrica per capita foi mínima e não caracteriza uma pressão significativa; no entanto, caso esta variação fosse maior, poderia estar relacionada à redução das Áreas de Preservação Permanente (por exemplo, mata ciliar, que possui papel relevante para os corpos hídricos) que pôde ser verificada no indicador ambiental desta pesquisa; esta redução poderia também estar relacionada com assoreamentos dos rios; ou ainda, a maior utilização dos recursos hídricos com o crescimento populacional.

O indicador de *Estado*, disponibilidade de água per capita na bacia (2010) foi de 2.643 m³/hab/ano, que de acordo com a escala de Falkenmark e Widstrand [18] utilizada por CHAVES e ALIPAZ [12] é considerada pobre, e corresponde a uma pontuação de 0.25.

Para compor o indicador *Resposta*, utilizaram-se dados operacionais disponíveis no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) através dos Diagnósticos anuais dos Serviços de Água e Esgoto do Ministério das Cidades [22], [23].

Neste indicador qualitativo, optou-se pelo *Índice de perdas na distribuição de água (%)*, fornecido anualmente pelo SNIS, para representar o indicador de Evolução na Eficiência do Uso da água proposto na metodologia do WSI em Chaves e Alipaz [12], onde não é aprofundado como este indicador foi calculado.

O *Índice de perdas na distribuição de água* faz a comparação entre o volume de água disponibilizado para distribuição e o volume consumido, os índices de perdas estão diretamente associados à qualidade da infraestrutura e da gestão dos sistemas. Para explicar a existência de perdas de água em patamares acima do aceitável, algumas hipóteses podem ser levantadas, tais como: falhas na detecção de vazamentos; redes de distribuição funcionando com pressões muito altas; elevados problemas na qualidade da operação dos sistemas; dificuldade no controle das ligações clandestinas e na aferição/calibração dos hidrômetros; ausência de programa de monitoramento de perdas; dentre outras hipóteses [23].

O valor médio de perdas na distribuição de água do Brasil, para todo o conjunto de prestadores de serviços, no ano de 2010, foi de 38,8%. O Diagnóstico de Serviços de Água e Esgoto mostrou também, que o Estado de Sergipe através da prestadora de serviços de abrangência regional, Companhia de Saneamento de Sergipe (DESO), possui um índice de perdas na distribuição acima da média nacional, com 59% [23].

O elevado índice de perdas de água reduz o faturamento das empresas e, conseqüentemente, sua capacidade de investir e obter financiamentos. Além disso, gera danos ao meio ambiente na medida em que obriga as empresas de saneamento a buscarem novos mananciais [29].

Índice de perdas na distribuição de água é fornecido para todos os municípios atendidos por Prestadores de serviços de abrangência local - na bacia em estudo - o SAAE para os municípios de Capela e Carmópolis; e pelos

Prestadores de serviços de abrangência regional, a Companhia de Saneamento de Sergipe (DESO), para demais municípios da bacia em estudo.

Na análise do Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto do ano 2005, destaca-se que não foram encontradas informações para os municípios: Barra dos Coqueiros, Cumbe, Feira Nova, Graccho Cardoso, Malhada dos Bois, Muribeca e Pirambu. Assim, calculou-se uma média aritmética do Índice de perdas na distribuição de água (%), dos municípios atendidos neste ano. O valor encontrado foi de 44,83% de perdas na distribuição de água.

Na análise do Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto do ano 2010, encontrou-se o índice de perdas na distribuição de água para todos os municípios inseridos na bacia. Com a média destes valores encontrou-se o índice médio de perdas na distribuição de água de 59,56%, um valor superior que aponta para a ineficiência no sistema de abastecimento de água nesta região.

De acordo com o Diagnóstico analisado, os valores elevados dos índices de perdas na distribuição de água indicam que os investimentos em curso no país não conseguiram reduzir, de maneira significativa as perdas de água nos sistemas de abastecimento. Assim, a proposta de ampliar as ações estruturantes consiste em propor investimentos para melhoria da gestão, sustentabilidade da prestação de serviços, modernização de sistemas e apoio ao aperfeiçoamento da gestão; o estabelecimento de ações contínuas de redução e controle de perdas, a partir de investimentos concretos nesta área, pode assegurar benefícios com eficiência e eficácia [23].

Este indicador, proposto por Chaves e Alipaz [12], seria qualitativo, sendo classificado em (muito pobre, pobre, médio, bom ou excelente), porém optou-se por respaldar a qualificação de acordo a classificação do Índice de Perdas, disponível em Tsutiya [30], o transformando em um indicador quantitativo. O Quadro 5, é uma adaptação realizada para que se possa pontuar o indicador de quantidade de água, quanto ao percentual do Índice de Perdas [30].

Índice Total de Perdas - P (%)	Classificação do Sistema	Pontuação proposta para o cálculo do WSI
$P < 25 \%$	Bom	1.0
$25 \leq P < 40$	Regular	0.5
$P \geq 40$	Ruim	0.0

Quadro 5. Classificação quanto ao Índice de Perdas e a sua pontuação para a composição do Índice de Sustentabilidade para a bacia em estudo (WSI). Adaptado [30]

De acordo com Tsutiya [30], esta, é uma tentativa de classificação dos sistemas de abastecimento de águas em relação às perdas, e também, procura dar uma referência da ordem de grandeza dos números percentuais geralmente encontrados.

Desta forma, a média dos Índices de Perdas dos municípios inseridos na bacia, tanto no ano de 2005, quanto no ano 2010, são superiores a 40%, que de acordo com o Quadro 5, está classificado como ruim, e recebe assim, uma pontuação igual a 0.0 para compor o WSI.

4.2. Subindicador qualidade de água

Para o indicador de *Pressão* foi calculado a variação do Índice de Qualidade de Água (IQA) na bacia com a escala de um ano, como não foram encontrados dados do IQA para a escala temporal proposta por Chaves e Alipaz (2007), utilizou-se a escala disponível (2009-2010). Desta forma, calculou-se a média dos valores do IQA de 2009 e a média dos valores de 2010, respectivamente 58,5 e 63,25 [16]. Assim, calculou-se a variação, encontrando o valor de 8,11%, o que representa uma pontuação de 0.50 pontos.

Já o indicador de *Estado* qualitativo da água, representado pela média anual do IQA na bacia, foi de 63,25 para o ano de 2010, de acordo com o Quadro 03, corresponde a uma pontuação de 0.75.

No indicador *Resposta*, Chaves e Alipaz [12] recomendam a avaliação da evolução no tratamento e disposição de esgotos na bacia, no período estudado. Assim, analisou-se o Diagnóstico de Serviços de Água e Esgoto do SNIS [22], [23] e não foram encontradas informações sobre os Índices de Coleta e Tratamento de esgotos dos municípios inseridos na bacia do rio Japarutuba.

Assim, avaliou-se que a falta de informações a respeito de esgotos na bacia constitui a realidade da falta de coleta e tratamento de esgoto nos municípios da bacia hidrográfica do rio Japarutuba. Desta forma, foi identificado que

a bacia possui uma condição “muito pobre” em relação à evolução no tratamento de esgoto, resultando na pontuação final 0.0.

4.3. Análise do Índice Hidrológico da Bacia Hidrográfica do rio Japarutuba (WSI)

De acordo com a Equação 1, o Índice Hidrológico ficou com a pontuação final igual a 0,33 o que significa que a bacia estudada encontra-se em nível baixo com relação à sustentabilidade da dimensão hidrológica no horizonte temporal estudado. O quadro 6 mostra detalhadamente da pontuação de cada parâmetro em matriz Pressão-Estado-Resposta e o seu resultado final.

INDICADORES		PRESSÃO		ESTADO		RESPOSTA		SUBTOTAL	TOTAL
		Nível	Pontuação	Nível	Pontuação	Nível	Pontuação		
Hidrológico	Quant.	-0,07%	0.50	2.643	0.25	Muito Pobre	0.00	0.25	0.33
	Qualit.	8,11%	0.50	63,25	0.75	Muito Pobre	0.00	0.41	

Quadro 6. níveis e pontuação de cada indicador e o valor final do índice.

Destaca-se que os parâmetros mais críticos foram da dimensão hidrológica: o subindicador quantitativo (Estado), relacionado à baixa disponibilidade hídrica per capita, o subindicador quantitativo (Resposta), relacionado aos altos índices de perdas na região; e o subindicador qualitativo (Resposta), que está relacionado à falta de coleta e tratamento de esgoto nos municípios da bacia em estudo.

Considerando, as informações obtidas e analisadas no presente estudo, construiu-se uma síntese de estratégias (Quadro 7) para os indicadores mais críticos identificados no estudo.

DIMENSÃO		FRAGILIDADE	ESTRATÉGIAS
HIDROLÓGICA	Quant.	- Disponibilidade hídrica per capita - Índice de Perdas na distribuição de água.	- Fiscalização dos usuários de água, em especial, industrial e agrícola; implantação da Cobrança pelo uso da água, visando à redução do consumo dos recursos hídricos. - Investimentos financeiros para o estabelecimento de ações contínuas de redução e controle de perdas.
	Qualit.	- Índice de coleta e tratamento de esgoto.	- Universalização do saneamento básico em toda a área da bacia;

Quadro 7. Estratégias para as principais fragilidades identificadas no estudo

A bacia hidrográfica do rio Japarutuba requer atenção prioritária especial na coleta e tratamento dos esgotos e no abastecimento de água. A resolução destes dois pontos críticos pode, de fato, solucionar outras questões relacionadas à saúde da população e melhoria da qualidade de vida na bacia.

A preservação matas ciliares, que possuem um papel de proteção aos rios, a preservação das nascentes, a consolidação das áreas de Reserva Legal e das Unidades de Conservação podem garantir uma melhor disponibilidade hídrica na bacia, tendo em vista a relevância da interação fundamental entre a vegetação e o ciclo hidrológico.

4.4 Validação dos resultados da pesquisa

A reunião de validação do componente hidrológico do índice de sustentabilidade para a bacia hidrográfica do rio Japarutuba, ocorreu no dia dez de junho de dois mil e quatorze, no auditório da Embrapa Tabuleiro Costeiros - CPATC, às 14h, com a participação 21 pessoas, dentre membros do Comitê da bacia hidrográfica do rio Japarutuba, técnicos da Superintendência de Recursos Hídricos, da Embrapa, da Companhia de Saneamento do Estado de Sergipe (DESO), dentre outros convidados.

Após a apresentação dos resultados da pesquisa “Avaliação da sustentabilidade na bacia hidrográfica do rio Japarutuba”, abriu-se para debate, e os convidados contribuíram de forma enriquecedora para a presente pesquisa.

Foi apresentada a importância desta metodologia, e das informações obtidas para assessorar a gestão dos recursos hídricos, tanto na bacia em estudo como aplicá-la em outras bacias do Estado.

Após a finalização do debate, os membros do Comitê da Bacia Hidrográfica do rio Japarutuba, validaram os resultados obtidos e ressaltaram a relevância da troca de informações entre as universidades, gestores e a sociedade organizada, de modo a contribuir para uma gestão eficiente.

RECONHECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, à CAPES pela concessão da bolsa de estudos, e ao projeto intitulado “Aplicação de ferramentas de geoprocessamento e de modelagem matemática na avaliação dos impactos ambientais decorrentes das atividades antrópicas na bacia do rio Japarutuba, em Sergipe” coordenado por pesquisadores da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

REFERÊNCIAS

- [1] KUMAMBALA, P. G.; ERVINE, A. Water resources sustainable decision making for Malawi based on basin hydrology, human health and environment. *Journal of Engineering and Technology*. 2008
- [2] GERGEL, S. E.; TURNER, M. G.; MILLER, J. R.; MELACK, J. M.; STANLEY, E. H. Landscape indicators of human impacts to riverine systems. *Aquat. Sci.* Vol. 64 118–128. (2002)
- [3] UNESCO, Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura. Evaluación objetiva de la aplicación y cálculo del Índice de Sostenibilidad de Cuenca en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá. Documentos Técnicos do Programa Hidrológico Internacional para América Latina y el Caribe, N° 12. , 2008
- [4] CATANO, N.; MARCHAND, M.; STALEY, S.; WANG, Y. Development and Validation of the Watershed Sustainability Index (WSI) for the Watershed of the Reventazón River. Commission for the Preservation and Management of the Watershed of the Reventazón River – COMCURE, 2009.
- [5] UN, UNITED NATIONS. Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies. 93 p. New York, 2007.
- [6] CORRÊA, M. A.; TEIXEIRA, B.A.N.; Indicadores de sustentabilidade para gestão de Recursos Hídricos no âmbito da bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré-SP. (s. d.).
- [7] BARROS, J.D.S.; SILVA, M.F.A.P.; Aspectos teóricos da sustentabilidade e seus indicadores. Rio de Janeiro. *Polém!ca*, v. 11, n. 1 , janeiro/março 2012
- [8] CRUZ, M.A.S. da; AMORIM, J. R. A de; ARAGÃO, R de; ALMEIDA, J. A. P.; SOUZA, A. M. B.; JESUS, J. S de; Caracterização hidrográfica e geomorfológica da bacia do rio Japarutuba em Sergipe: Informações preliminares. (Relatório Técnico). Aracaju, Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2010. 19 p.
- [9] SERGIPE. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. Superintendência de Recursos Hídricos. Execução dos serviços para a elaboração do plano da Bacia Hidrográfica do Rio Japarutuba. (Relatório Resumo). Aracaju, SEMARH, 2010. 38 p.
- [10] ARAÚJO, S. S. Conflitos sócio-ambientais relacionados ao uso da água outorgada da bacia hidrográfica do Rio Japarutuba – SE. São Cristóvão. 117 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) 2008.
- [11] CRUZ, M. A. S. Caracterização da bacia do rio Japarutuba em Sergipe com auxílio de geotecnologias. In: II Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: Recuperação de Áreas Degradadas, Serviços Ambientais e Sustentabilidade, dez. 2009, Taubaté. *Anais. IPABHI*, p. 617-624.
- [12] CHAVES, H.M.L.; ALIPAZ, S.; An Integrated Indicator for Basin Hydrology, Environment, Live, and Policy: The Watershed Sustainability Index. *Water Resources Management*. v. 21, n. 5, p 883-895. 2007
- [13] OECD, Organisation for Economic Co-operation and Development. OECD Environmental Indicators: Development, measurement and use. Reference paper, Paris 50., 2003
- [14] GUIMARÃES, L. T. Proposta de um sistema de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável para bacias hidrográficas. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) 237Pp. COPPE-UFRJ. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2008
- [15] CHAVES, H. M. L.; Avaliação integrada da sustentabilidade de quatro bacias hidrográficas latinoamericanas. *Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Campo Grande (2009)
- [16] MARQUES, Maria Nogueira . Aspectos qualitativos e quantitativos das águas em Sergipe. 2011. (Apresentação de Trabalho/Conferência ou palestra).
- [17] ANA, AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Séries Históricas: HidroWeb. 2013. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>
- [18] FALKENMARK, M.; WIDSTRAND, C. Population and water resources: A delicate balance. *Pop. Bull. Pop. Reference Bureau*, Washington. 1992. Apud CHAVES, H.M.L.; ALIPAZ, S.; An Integrated Indicator for Basin Hydrology, Environment, Live, and Policy: The Watershed Sustainability Index. *Water Resources Management*. v. 21, n. 5, p 883-895. 2007
- [19] ALEXANDRE, A. M. B.; MARTINS, E. S. P. R. Regionalização de Vazões Médias de Longo Período Para o Estado do Ceará. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH)* Vol.10 n.3, p. 93-102, Jul/Set 2005.

- [20] COLLISCHONN, W. ; TASSI, R. **Introduzindo Hidrologia**. Rio Grande do Sul. UFRGS, 2008.
- [21] EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Embrapa Tabuleiros Costeiros. Base de Dados do Projeto Japarutuba**. [recurso eletrônico] / Marcus Aurélio Soares Cruz ...[et al.] – Brasília, DF : Embrapa, 2012.
- [22] BRASIL. Ministério das Cidades. **Programa de Modernização do Setor Saneamento. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2005**. 338 p.
- [23] BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento. **Sistema Nacional de Informações sobre saneamento: diagnóstico água e esgoto 2010**. texto, tabelas. 448 p [24] ISAIAS, F. B. **A Sustentabilidade da Água: Proposta de um Índice de Bacias Hidrográficas**. Universidade de Brasília, Centro de Desenvolvimento Sustentável. Dissertação de Mestrado, Brasília-DF, 2008
- [25] FRANCO, R. A. M; HERNANDEZ, F. B. T. **Qualidade de água na microbacia do Coqueiro, noroeste do Estado de São Paulo**. *Water Resources and Irrigation Management*. v.1, n.1, p.61-69, Sept-Dec, 2012.
- [26] LACERDA, R. A.; LEVIN, A. S. S.; DE OLIVEIRA, M. S.; GARCIA, C. P.; TURRINI, R. T. N. **Indicadores de desempenho sobre uso de antibioticoprofilaxia cirúrgica: construção e validação**. *R. Ci. méd. biol., Salvador*, v.8, n.3, p.270-282, set./dez. 2009
- [27] ALEXANDRE, N. M. C.; COLUCI, M. Z. O. **Validade de conteúdo nos processos de construção e adaptação de instrumentos de medidas**. *Ciência & Saúde Coletiva*, 16(7):3061- 3068, 2011
- [28] CORTÉS, A.E., OYARZÚN, R., KRETSCHMER, N., CHAVES, H., SOTO, G., SOTO, M., AMÉZAGA, J., OYARZÚN, J., RÖTTING, T., SEÑORET, M. AND MATURANA, H. **Application of the Watershed Sustainability Index to the Elqui river basin, North-Central Chile**. *Obras y Proyectos* n° 12, p. 57-69, 2012
- [29] ABES, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Perdas em sistemas de abastecimento de água: diagnóstico, potencial de ganhos com sua redução e propostas de medidas para o efetivo combate**. Setembro de 2013. 45p
- [30] TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de Água**. 3ª edição. São Paulo – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo; 643p. 2006