

**INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO**  
**CAMPUS SANTA TERESA**  
**PÓS-GRADUAÇÃO LATO SENSU EM EDUCAÇÃO E GESTÃO AMBIENTAL**

**JULIA REIS SCHIMIDT**

**Evolução do nível de sustentabilidade na bacia do Rio Doce**

Santa Teresa

2020

JULIA REIS SCHIMIDT

## **Evolução do nível de sustentabilidade na bacia do Rio Doce**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Pós-Graduação Lato Sensu em Educação e Gestão Ambiental do Instituto Federal Do Espírito Santo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Pós-Graduado em Educação e Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Dra. Paola Alfonsa V. Lo Monaco

Santa Teresa

2020

(Biblioteca Major Bley do Instituto Federal do Espírito Santo)

S335e Schmidt, Júlia Reis.

Evolução do nível de sustentabilidade na bacia do Rio Doce  
/ Júlia Reis Schmidt. – 2020.

25f : il. ; 30 cm.

Orientador: Profa. Dra. Paola Alfonsa V. Lo Mônico

Monografia (Pós-graduação *Lato Sensu* em Educação e  
Gestão Ambiental) – Instituto Federal do Espírito Santo. Santa  
Teresa, 2020.

Inclui bibliografias.

1. Índice de sustentabilidade. 2. Plano de recursos hídricos.  
3. Desenvolvimento sustentável. I. Mônico, Paola Afonsa V. Lo.  
II. Instituto Federal do Espírito Santo. III. Título.

CDD 22 – 551.483098152

Elaboração: Domingos Sávio Côgo – CRB6/ES - 430



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
PÓS-GRADUAÇÃO LATO SENSU EM EDUCAÇÃO E GESTÃO AMBIENTAL

**JULIA REIS SCHIMIDT**

**EVOLUÇÃO DO NÍVEL DE SUSTENTABILIDADE NA BACIA DO  
RIO DOCE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Pós-Graduação Lato Sensu em Educação e Gestão Ambiental do Instituto Federal Do Espírito Santo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Pós-Graduado em Educação e Gestão Ambiental.

Aprovado em 03 de dezembro de 2020

**COMISSÃO EXAMINADORA**

Prof.ª. Dra. Paola Alfonsa V. Lo Monaco

Instituto Federal do Espírito Santo

Orientadora

Prof. Dr. Ednaldo Miranda de Oliveira

Instituto Federal do Espírito Santo – campus Santa Teresa

Membro interno

Prof. Dr. Walisson da Silva Freitas

Instituto Federal do Espírito Santo – campus Ibatiba

Membro externo

## DECLARAÇÃO DO AUTOR

Declaro, para fins de pesquisa acadêmica, didática e técnico-científica, que este Trabalho de Conclusão de Curso pode ser parcialmente utilizado, desde que se faça referência à fonte e ao autor.

Santa Teresa, 03 de dezembro de 2020.

  
Julia Reis Schimidt



## MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

PÓS-GRADUAÇÃO LATO SENSU EM EDUCAÇÃO E GESTÃO AMBIENTAL

### RESUMO

O conceito de desenvolvimento sustentável norteou os objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos do Brasil. Diversas metodologias podem ser utilizadas para avaliação da sustentabilidade de uma bacia hidrográfica, dentre elas, o uso de índices, que tratam de maneira integrada e dinâmica as complexidades identificadas, sendo consideradas importantes ferramentas de gestão. A bacia hidrográfica do rio Doce possui uma série de usos múltiplos e conflitantes e iniciou, em 2020, o processo de revisão de seu atual Plano Integrado de Recursos Hídricos (PIRH). Dessa forma, neste trabalho avaliou-se o nível de sustentabilidade na bacia hidrográfica do rio Doce, antes e após o PIRH-Doce aprovado em 2010, através do Índice de Sustentabilidade de Bacias (Watershed Sustainability Index - WSI). O WSI calculado para a bacia no período anterior ao PIRH foi 0,46 e após o PIRH foi 0,55, resultando em valores que expressam baixo e médio níveis de sustentabilidade, respectivamente. Apesar da pequena melhora após a aprovação do PIRH-Doce, não foi possível associá-la à implementação do Plano de Recursos Hídricos, que apresentou no período 2010-2015 um nível muito baixo de execução orçamentária.

Palavras-chave: Índice de sustentabilidade. Plano de Recursos Hídricos. Desenvolvimento Sustentável



## **MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**

**INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO**

**PÓS-GRADUAÇÃO LATO SENSU EM EDUCAÇÃO E GESTÃO AMBIENTAL**

### **ABSTRACT**

The concept of sustainable development guided the objectives of Brazilian National Water Resources Policy. Several methodologies can be used to assess the sustainability of a watershed, including the use of indexes that address the identified complexities in an integrated and dynamic manner, and are considered important management tools. The Doce River basin has a number of multiple and conflicting uses and will begin, by 2020, the review process of its current Integrated Water Resources Plan (IWRP). Thus, this work evaluated the level of sustainability in the Doce River basin, before and after the IWRP approved in 2010, through the Watershed Sustainability Index (WSI). The WSI calculated for the basin in the period prior to the IWRP was 0.46 and after the IWRP was 0.55, resulting in values expressing low and medium levels of sustainability, respectively. Despite the slight improvement after the approval of the IWRP, it could not be linked to the implementation of the Plan's programs, which in 2010-2015 had a very low level of budget execution.

**Keywords:** Sustainability index. Water resources plan. Sustainable development.

## **LISTA DE ILUSTRAÇÕES**

- Figura 1: Localização da Bacia do Rio Doce. Fonte: PIRH-Doce (CONSÓRCIO ECOPLAN-  
LUME, 2010). ..... 12
- Figura 2: Uso e ocupação do solo, nos anos de 2005, 2010 e 2015. Fonte: Autoria Própria... 19



## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Estrutura dos indicadores que compõem o WSI.....	14
Tabela 2: Pontuação para os indicadores de Pressão.....	16
Tabela 3: Pontuação para os indicadores de Estado .....	17
Tabela 4: Pontuação para os indicadores de Resposta .....	17
Tabela 5: Classificação do WSI, conforme Chaves (2009).....	18
Tabela 6: Resultado dos indicadores e do WSI para o período 2005-2010.....	18
Tabela 7: Resultado dos indicadores e do WSI para o período 2010-2015.....	19

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>9</b>
<b>2 DESENVOLVIMENTO</b>	<b>10</b>
2.1 REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.2 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO RIO DOCE	12
2.3 METODOLOGIA	13
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
<b>3 CONCLUSÃO</b>	<b>22</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>23</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH (Lei 9.433/1997) tem como um de seus objetivos “a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, [...] com vistas ao desenvolvimento sustentável”. Dentre os instrumentos desta Política, o Plano de Recursos Hídricos visa a fundamentar e orientar o gerenciamento dos recursos hídricos e a implementação da Política, apresentando, portanto, um papel relevante na busca pelo desenvolvimento sustentável na bacia, em especial quanto à sustentabilidade hídrica (AGERH, 2020).

A sustentabilidade dos recursos hídricos visa atender às necessidades dos diversos usos da água, entre eles o uso doméstico, a irrigação, o uso industrial, a recreação, a pesca e a geração de energia, e, ao mesmo tempo, garantindo a proteção ao meio ambiente, a melhoria das condições sociais e o desenvolvimento econômico.

Uma forma racional de se medir o nível de sustentabilidade é através de indicadores de sustentabilidade. Para Reed, Fraser e Dougill (2006) os indicadores de sustentabilidade com base em dados locais fornecem um método prático para monitorar o progresso em direção ao desenvolvimento sustentável. Além disso, podem estimular um processo para melhorar a compreensão dos problemas ambientais e sociais, facilitar a capacitação da comunidade e servir como um guia de ajuda no desenvolvimento de políticas e projetos.

Chavez e Alipaz (2007) propuseram um índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas – WSI (Watershed Sustainability Index) a fim de integrar questões hidrológicas, sociais, ambientais e políticas, bem como as pressões existentes e as respostas políticas. O WSI incorpora fatores sociais, econômicos e ambientais para a análise da sustentabilidade.

Avaliar a sustentabilidade numa bacia hidrográfica tomando por base o Plano de Recursos Hídricos não é usual. Mas, considerando-se a importância desse instrumento da PNRH para o desenvolvimento sustentável de regiões e o momento atual na bacia do rio Doce, em que se realizam os preparativos para a revisão do Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce – PIRH-Doce (elaborado em 2010 e com processo de revisão iniciado em 2020), visitar o PIRH-Doce e realizar essa avaliação, podem auxiliar no aprimoramento do novo Plano e na definição de estratégias mais adequadas em busca da melhoria do nível de sustentabilidade na bacia. Dessa forma, este trabalho objetiva avaliar o nível de sustentabilidade na bacia hidrográfica do rio Doce, antes e após da publicação do PIRH-Doce, e analisar a execução do Plano na sustentabilidade hídrica na bacia.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Referencial Teórico

Peixinho (2010) registra que a abundância e a carência da água tem sido fator determinante da evolução dos povos, desde que a disponibilidade hídrica excedente em certas regiões favorece o florescimento de civilizações e em outras, que apresentam déficit hídrico, representa um grande condicionador ao desenvolvimento.

Para Hamel e Grubba (2016) a situação problemática da água, não reside somente na sua escassez, mas também nas ações e práticas do homem com os recursos existentes, como poluição, apropriação da água por empresas privadas com finalidades econômicas e falta de serviços adequados de abastecimento e saneamento. Um dos principais fatores que levam à ocorrência de problemas relacionados a recursos hídricos é a má distribuição temporal e espacial das chuvas e vazões, aliada, muitas vezes, à concentração das demandas em determinadas regiões (LIMA, 2001).

Ao longo das décadas de 1970 e 1980 a sociedade começou a despertar para as ameaças a que estava sujeita se não mudasse de comportamento quanto ao uso de seus recursos hídricos. O Brasil já dispunha de um texto sobre o direito da água desde 1934, o Código de Águas. Porém, tal ordenamento não objetivou incorporar meios para combater a escassez hídrica, a contaminação das águas, conflitos de uso, e promover os meios de uma gestão descentralizada e participativa, uma vez que apenas regulamentava a propriedade e os múltiplos usos da água (NETO, 2015). Foi exatamente para preencher essas lacunas que foi elaborada a Lei nº 9.433 de janeiro de 1997 (SETTI *et al.*, 2000), que estabeleceu a Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH.

A interpretação da PNRH brasileira permite observar que os preceitos de desenvolvimento sustentável foram incorporados nesta legislação, principalmente em seu primeiro objetivo: “assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos”. Para Silva (2012) houve grande preocupação do legislador com o desenvolvimento sustentável e a gestão integrada e sistemática dos recursos hídricos, assegurada a participação dos usuários e da sociedade civil, a fim de garantir a oferta de água em quantidade suficiente e com qualidade satisfatória para as atuais e futuras gerações.

De acordo com Feil e Schreiber (2017), o desenvolvimento sustentável é uma estratégia utilizada em longo prazo para melhorar a qualidade de vida da sociedade, e a utilização dessa estratégia é necessária para alcançar a sustentabilidade. Os autores definem sustentabilidade como um termo que expressa a preocupação com a qualidade de um sistema que diz respeito à

integração indissociável ambiental e humana, e avalia suas propriedades e características, abrangendo os aspectos ambientais, sociais e econômicos.

Segundo Todorov e Marinova (2011) *apud* Feil e Schreiber (2017), a sustentabilidade necessita de uma avaliação quantitativa, ou seja, quantificar ou mensurar o nível ou a qualidade de um sistema. Essa mensuração pode ser realizada por meio de indicadores ou índices (MOLDAN *et al.*, 2012 *apud* Feil e Schreiber (2017)).

Para Gallopin (1996), os indicadores mais desejados são aqueles que resumem ou simplificam as informações relevantes. Esses indicadores devem ser selecionados para diferentes escalas hierárquicas e níveis de percepção, além de ser capazes de abordar problemas complexos, apresentando uma visão holística, que possam ser mensuráveis e que sejam aceitos pelos tomadores de decisões.

Bellen (2004) realizou um levantamento com o objetivo de determinar as principais metodologias de avaliação da sustentabilidade. A autora ressalta que sistemas de indicadores de desenvolvimento sustentável podem ser uma importante ferramenta de gestão ambiental, sendo úteis para tomadores de decisões, na medida em que podem ser utilizadas no desenvolvimento de políticas, na interpretação de dados, como ferramenta de comunicação e outros.

Maynard, Cruz e Gomes (2017), citam que a Agenda 21 recomenda a utilização de indicadores de sustentabilidade e relatam que, embora haja uma quantidade considerável de dados, é preciso reunir mais e diferentes tipos nos planos local, estadual, nacional e internacional, que indiquem os estados e as tendências das variáveis socioeconômicas, de poluição, de recursos naturais e dos ecossistemas. Além disso, ressaltam que os métodos usados para coletar, interpretar e exibir dados devem ser fáceis e eficazes para que as partes interessadas possam participar do processo. Os autores aplicaram um índice de sustentabilidade para bacias hidrográficas na bacia do rio Japarutuba, no Estado de Sergipe, sendo selecionado o índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas – WSI (Watershed Sustainability Index), desenvolvido por Chaves e Alipaz (2007).

Costa e Silva (2017) desenvolveram metodologia baseada nos indicadores do Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas (Watershed Sustainability Index - WSI) e na análise Multicritério e Multidecisor e aplicou na bacia hidrográfica Piranhas-Açu. A fase inicial da metodologia é composta pelo cálculo dos indicadores do Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas, seguido pela aplicação de análise Multicritério e Multidecisor com base nos valores dos indicadores. Os resultados demonstraram a aplicabilidade da metodologia proposta

para definição de uma escala de avaliação, trazendo resultados relevantes no contexto da pesquisa.

Maynard, Cruz e Gomes (2017) também argumentam que o WSI é um instrumento simples e adaptável para avaliar o estado atual da sustentabilidade de uma bacia hidrográfica, apropriado para embasar a tomada de decisão em relação à gestão integrada dos recursos hídricos, e que a referida metodologia já foi aplicada em bacias hidrográficas de diversos países, a exemplo dos estudos de UNESCO (2008), Chaves (2009) e Cortés *et al.* (2012).

## 2.2 Caracterização da Bacia do Rio Doce

A bacia hidrográfica do rio Doce está situada na região Sudeste, com área de drenagem de aproximadamente 87.000 km<sup>2</sup>, dos quais 86% localizada no Leste de Minas Gerais e o restante no Nordeste do Espírito Santo, abrangendo um total de 228 municípios. Suas nascentes situam-se em Minas Gerais, nas serras da Mantiqueira e do Espinhaço e suas águas percorrem cerca de 880 km, até o oceano Atlântico, junto ao povoado de Regência, no município de Linhares, no Espírito Santo (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010). Sua localização e principais afluentes podem ser observados na Figura 1. Os limites da Bacia Hidrográfica do Rio Doce, utilizados na presente metodologia, foram obtidos através da base de dados do I3Geo, disponibilizados pelo Ministério do Meio Ambiente.

Figura 1: Localização da Bacia do Rio Doce. Fonte: PIRH-Doce (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010).



A atividade econômica da bacia é bastante diversificada, destacando-se: a agropecuária (reflorestamento, lavouras tradicionais, cultura de café, cana-de-açúcar, criação de gado leiteiro e de corte e suinocultura.); a agroindústria (sucroalcooleira); a mineração (ferro, ouro, bauxita, manganês, pedras preciosas e outros); a indústria (celulose, siderurgia e laticínios); o comércio e serviços de apoio aos complexos industriais; e a geração de energia elétrica. A bacia possui um relevo predominantemente ondulado, montanhoso e acidentado e 98% da sua área inserido no Bioma Mata Atlântica, sendo o restante pertencente ao Bioma Cerrado. O Plano Integrado de Recursos Hídricos registra que os ambientes naturais da bacia estão sendo substituídos pela pecuária, agricultura, reflorestamento e ocupação urbana e que os principais problemas ambientais na região se referem ao desmatamento e mau uso dos solos para a monocultura do eucalipto, agricultura ou pastagem (intensificam processos erosivos e assoreamento dos corpos hídricos), ao uso indiscriminado de agrotóxicos nas lavouras (contaminam cursos d'água) e à inexistência de sistemas eficientes de tratamento de esgotos. Na região está instalado o maior complexo siderúrgico da América Latina (Companhia Siderúrgica Belgo Mineira, ACESITA e a USIMINAS), além de empresas de mineração (Vale S/A e Samarco Mineração S/A) e empresas que cultivam eucalipto para fornecer matéria prima para indústrias de celulose. No passado, uma das principais atividades econômicas na bacia era a extração de ouro. Justamente por esse desenvolvimento histórico, a bacia do Doce abriga diversas barragens utilizadas para deposição de rejeitos da atividade de mineração (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010).

No dia 5 de novembro de 2015 ocorreu um desastre ambiental na bacia, o rompimento da barragem de Fundão, no município de Mariana, Minas Gerais, que trouxe diversos impactos ambientais, sociais e econômicos. As operações de extração e beneficiamento do minério nesta região eram de responsabilidade da Samarco Mineração S/A, empresa de grande porte (10ª maior exportadora do Brasil em 2014), de propriedade da Vale S/A (50%) e BHP Billiton Brasil Ltda (50%). Com o rompimento da barragem e a liberação dos rejeitos a bacia foi fortemente afetada. No que se refere aos recursos hídricos, destacam-se os impactos na qualidade da água, os quais levaram à interrupção do abastecimento público de algumas cidades e de diversos outros usuários de água. Além disso, também foram afetados outros usos de recursos hídricos da bacia como a geração de energia elétrica, a indústria, a pesca e o lazer (ANA, 2016).

### **2.3 Metodologia**

Para a avaliação do nível de sustentabilidade, foi selecionado previamente o índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas – WSI (Watershed Sustainability Index – WSI) proposto por Chaves e Alipaz (2007). É importante registrar que a pesquisa não teve a intenção

de discutir se este é o melhor índice de sustentabilidade ou se as dimensões da sustentabilidade consideradas pelo WSI representam adequadamente o estado da arte da discussão no tema, mas apenas fazer uso de um instrumento já difundido no ambiente científico para avaliação do nível de sustentabilidade em bacias hidrográficas.

Na primeira etapa, foram calculados índices de sustentabilidade hídrica (WSI) para a bacia do rio Doce, considerando um período anterior ao PIRH-Doce (2005-2010) e outro posterior ao Plano (2010-2015). O período limitou-se ao ano de 2015 para evitar a contaminação dos resultados dos indicadores calculados pelos impactos causados pelo desastre do rompimento da barragem da Samarco, em Mariana, o que poderia mascarar a avaliação da implementação dos programas do PIRH-Doce. O WSI considera quatro dimensões da sustentabilidade: **Hidrológica, Ambiental, Social e Política** (Hydrology-Environmental-Life-Policy: HELP), avaliadas a partir de uma matriz de causa-efeito que calcula os indicadores nas componentes **Pressão, Estado e Resposta** (CHAVES E ALIPAZ, 2007). Foi utilizado no cálculo do WSI a metodologia adaptada por Maynard, Cruz e Gomes (2017), que propõem a substituição de alguns dos parâmetros de forma a quantificar variáveis qualitativas, bem como facilitar o seu cálculo a partir de informações disponíveis em bases de dados atualizadas regularmente. Os indicadores são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Estrutura dos indicadores que compõem o WSI.

Indicadores/Dimensões	Pressão	Estado	Resposta
		Parâmetros	
Hidrológicos (H - Hydrology)	Variação da disponibilidade de água per capita na bacia no período	Disponibilidade de água per capita na bacia no último ano	Evolução na eficiência do uso da água no período
	Variação do Índice de Qualidade de Água (IQA) na bacia no período	Média do Índice de Qualidade de Água na bacia no último ano	Evolução no tratamento de esgoto no período
Ambientais (E - Environmental)	Índice de Pressão Antrópica (EPI) na bacia no período	% da área da bacia com vegetação natural no último ano	Evolução das áreas de conservação na bacia no período
	Variação do Índice de Desenvolvimento Urbano - Renda per capita na bacia no período	Índice de Desenvolvimento Urbano ponderado na bacia no último ano	Evolução do Índice de Desenvolvimento Urbano na bacia no período
Sociais (L - Life)	Variação do Índice de Desenvolvimento Urbano - Educação na bacia no período	Capacidade institucional e legal em Gestão Integrada de Recursos Hídricos	Evolução dos gastos com Gestão Integrada de Recursos Hídricos na bacia no período
Políticos (P - Policy)			

Fonte: Adaptado de Maynard, Cruz e Gomes (2017).

Para o parâmetro de quantidade de água da dimensão **Hidrológica-Pressão**, foi gerada a média móvel de longo período da série histórica de vazões para trinta anos, em cada ano dos intervalos (2005, 2010 e 2015) e dividida pela população da bacia no ano de referência, de



forma a subsidiar a obtenção das variações da disponibilidade de água per capita. A série histórica de vazões foi obtida através de dados da ANA para o ponto mais a jusante da bacia com disponibilidade de dados, estação 56994500 – Colatina. Para o parâmetro de qualidade, foram geradas as médias anuais do Índice de Qualidade de Água – IQA e também calculadas as variações nos períodos. Os dados do IQA foram obtidos através de informações disponibilizadas pela ANA e Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM.

Os parâmetros de quantidade e de qualidade da dimensão **Hidrológica–Estado**, definidos pela disponibilidade hídrica per capita na bacia e média anual do IQA na bacia, respectivamente, foram obtidos da maneira análoga ao mencionado, apenas para o último ano do período. Para os parâmetros da dimensão **Hidrológica–Resposta**, o cálculo da evolução na eficiência do uso da água no período foi realizado a partir de dados do índice de perdas no faturamento (água) e o cálculo da evolução no tratamento de esgotos a partir do índice de tratamento de esgoto, indicadores IN013 e IN016, respectivamente, disponíveis no Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS). Ambos foram obtidos para cada município e ponderados pela sua respectiva população em cada ano. Os municípios utilizados na análise foram aqueles que possuem área urbana dentro da Bacia Hidrográfica do Rio Doce.

O parâmetro da dimensão **Ambiental–Pressão**, EPI da bacia no período, foi calculado através da Equação 1. Ressalta-se que o valor de EPI pode ser positivo, caracterizando um aumento do impacto ambiental, ou negativo, caracterizando uma diminuição no impacto.

$$EPI = \frac{\%Va + \%Vu}{2} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

%Va é o percentual de variação de áreas agrícolas na bacia no período estudado;

%Vu é o percentual de variação de áreas urbanas na bacia no período estudado;

Para o cômputo das áreas urbanas e agrícolas, bem como a porcentagem da bacia composta por vegetação natural, parâmetro da dimensão **Ambiental–Estado**, foram utilizados os *shapefiles* disponibilizados pelo IBGE e processados por meio do software ArcGIS 10.1®.

O parâmetro da dimensão **Ambiental–Resposta** avalia a evolução nas áreas protegidas na bacia, no período de estudo. Para isso, foram analisadas as criações de áreas protegidas no período e a evolução se refere a relação entre a área dos locais protegidos e a área total da bacia.

Os parâmetros das dimensões **Social–Pressão, Estado e Resposta** e **Política–Pressão**, compostos pela variação do IDH-Renda per capita, IDH ponderado da bacia, variação do IDH da bacia e variação do IDH-Educação, respectivamente, foram utilizados os dados

disponibilizados pelo IBGE no período avaliado e ponderados pela população dos municípios integrantes da bacia.

O parâmetro da dimensão **Política–Estado** avalia a capacidade legal e institucional na bacia, por meio da Gestão Integrada de Recursos Hídricos na Bacia. A metodologia utilizada seguiu o proposto por UNESCO (2008) *apud* Maynard, Cruz e Gomes (2017), considerando aspectos legais (existência de marco legal), institucionais (existência de Comitê e Agência de Bacia) e de participação (número de membros nas plenárias do Comitê). Por fim, o parâmetro da dimensão **Política–Resposta**, avalia a evolução dos gastos em Gestão de Recursos hídricos, sendo assim, foram analisadas as ações executadas em cada período através de programas relacionados a Gestão de Recursos Hídricos.

Após o cômputo para cada parâmetro, esses resultados foram associados a um escore, conforme disponível na Tabela 02, Tabela 03 e Tabela 04. O resultado do escore de cada dimensão da sustentabilidade consiste na média dos escores dos indicadores de Pressão-Estado-Resposta e o índice WSI consiste no valor médio dos escores dessas dimensões, que é classificado conforme a Tabela 05.

Tabela 2: Pontuação para os indicadores de Pressão

Indicadores (Pressão)	Parâmetro	Nível	Escore
<b>Hidrológicos (H - Hydrology)</b>	$\Delta 1$ - Variação da disponibilidade de água per capita na bacia no período	$\Delta 1 < -20\%$	0
		$-20\% < \Delta 1 < -10\%$	0,25
		$-10\% < \Delta 1 < 0\%$	0,50
		$0 < \Delta 1 < +10\%$	0,75
		$\Delta 1 > +10\%$	1,00
	$\Delta 2$ - Variação do Índice de Qualidade de Água (IQA) na bacia no período	$\Delta 2 > 20\%$	0
$20\% > \Delta 2 > 10\%$		0,25	
$0\% < \Delta 2 < 10\%$		0,50	
$-10\% < \Delta 2 < 0\%$		0,75	
<b>Ambientais (E - Environmental)</b>	Índice de Pressão Antrópica (EPI) na bacia no período	$\Delta 2 < -10\%$	1,00
		$EPI > 20\%$	0
		$20\% > EPI > 10\%$	0,25
		$10\% > EPI > 5\%$	0,50
		$5\% > EPI > 0\%$	0,75
<b>Sociais (L - Life)</b>	Variação do IDH-Renda per capita na bacia no período	$EPI < 0\%$	1,00
		$\Delta < -20\%$	0
		$-20\% < \Delta < -10\%$	0,25
		$-10\% < \Delta < 0\%$	0,50
		$0 < \Delta < 10\%$	0,75
<b>Políticos (P - Policy)</b>	Variação do IDH-Educação na bacia no período	$\Delta > 10\%$	1,00
		$\Delta < -20\%$	0
		$-20\% < \Delta < -10\%$	0,25
		$-10\% < \Delta < 0\%$	0,50
		$0 < \Delta < 10\%$	0,75
		$\Delta > 10\%$	1,00

Fonte: Adaptado de Maynard, Cruz e Gomes (2017).

Tabela 3: Pontuação para os indicadores de Estado

Indicadores (Estado)	Parâmetro	Nível	Score
<b>Hidrológicos (H - Hydrology)</b>	Wa - Disponibilidade de água per capta na bacia no último ano	Wa < 1700	0
		1700 < Wa < 3400	0,25
		3400 < Wa < 5100	0,50
		5100 < Wa < 6800	0,75
		Wa > 6800	1,00
<b>Ambientais (E - Environmental)</b>	% da área da bacia com vegetação natural no último ano (Av)	Av < 5	0
		5 < Av < 10	0,25
		10 < Av < 25	0,50
		25 < Av < 40	0,75
		Av > 40	1,00
<b>Sociais (L - Life)</b>	IDH ponderado na bacia no último ano	IDH < 0.5	0
		0.5 < IDH < 0.6	0,25
		0.6 < IDH < 0.75	0,50
		0.75 < IDH < 0.9	0,75
		IDH > 0.9	1,00
<b>Políticos (P - Policy)</b>	Capacidade institucional e legal em GIRH	Muito Pobre	0
		Pobre	0,25
		Regular	0,50
		Bom	0,75
		Excelente	1,00

Fonte: Adaptado de Maynard, Cruz e Gomes (2017).

Tabela 4: Pontuação para os indicadores de Resposta

Indicadores (Resposta)	Parâmetro	Nível	Score
<b>Hidrológicos (H - Hydrology)</b>	Evolução na eficiência do uso da água no período	Muito Pobre	0
		Pobre	0,25
		Regular	0,50
		Bom	0,75
		Excelente	1,00
<b>Ambientais (E - Environmental)</b>	Evolução no tratamento de esgoto no período	Muito Pobre	0
		Pobre	0,25
		Regular	0,50
		Bom	0,75
		Excelente	1,00
<b>Sociais (L - Life)</b>	Evolução das áreas de conservação na bacia no período	$\Delta < -10\%$	0
		$-10\% < \Delta < 0\%$	0,25
		$0\% < \Delta < 10\%$	0,50
		$10\% < \Delta < 20\%$	0,75
		$\Delta > 20\%$	1,00
<b>Políticos (P - Policy)</b>	Evolução do IDH na bacia no período	$\Delta < -10\%$	0
		$-10\% < \Delta < 0\%$	0,25
		$0\% < \Delta < 10\%$	0,50
		$10\% < \Delta < 20\%$	0,75
		$\Delta > 20\%$	1,00
<b>Políticos (P - Policy)</b>	Evolução dos gastos com GIRH na bacia no período	$\Delta < -10\%$	0
		$-10\% < \Delta < 0\%$	0,25
		$0\% < \Delta < 10\%$	0,50
		$10\% < \Delta < 20\%$	0,75
		$\Delta > 20\%$	1,00

Fonte: Adaptado de Maynard, Cruz e Gomes (2017).

Tabela 5: Classificação do WSI, conforme Chaves (2009)

<b>Resultado do WSI</b>	<b>Classificação</b>
WSI < 0,5	Baixo
$0,5 \leq \text{WSI} < 0,8$	Médio
WSI $\geq 0,8$	Alto

Fonte: Adaptado de Chaves (2009).

### 2.3 Resultados e Discussão

Como forma de mensurar o nível de sustentabilidade na bacia do rio Doce foi calculado o índice de sustentabilidade hídrica WSI, desenvolvido por Chaves e Alipaz (2007), conforme descrito na metodologia.

Os resultados obtidos para o WSI no período 2005-2010, bem como os respectivos indicadores de cada dimensão da sustentabilidade que compõem o índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas, em cada componente da matriz causa-efeito (Pressão-Estado-Resposta) são apresentados na Tabela 6. Nesse período o WSI calculado para a bacia do rio Doce foi igual a 0,46, o que indica, segundo Chaves (2009), um nível baixo de sustentabilidade (WSI < 0,5).

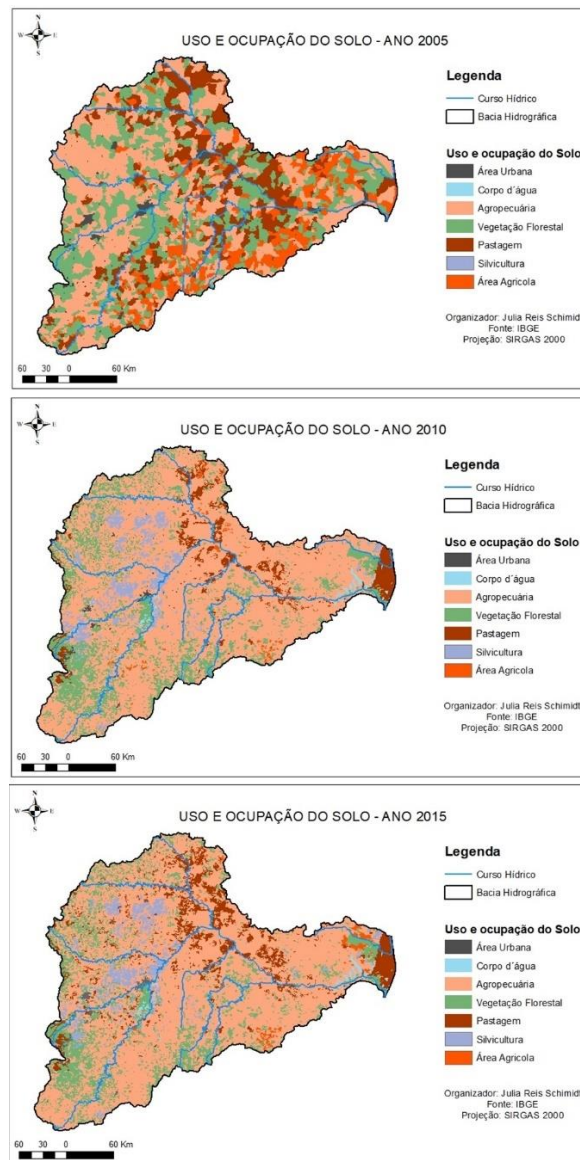
Tabela 6: Resultado dos indicadores e do WSI para o período 2005-2010.

WSI (2005-2010) =		Pressão		Estado		Resposta	
0,46		Nível	Score	Nível	Score	Nível	Score
Dimensão/Indicador							
<b>Hidrológica</b>	<i>Quantidade</i>	-3,3%	0,50	7949,0	1,00	Pobre	0,25
	<i>Qualidade</i>	8,2%	0,50	64,7	0,75	Regular	0,50
<b>Ambiental</b>		26,9%	0,00	3,3%	0,00	0,2%	0,50
<b>Social</b>		4,0%	0,75	0,73	0,50	-8,5%	0,25
<b>Política</b>		-27,2%	0,00	Boa	0,75	> 100%	1,00

Fonte: Autoria Própria

Os indicadores com piores resultados na componente Pressão foram os da dimensão Ambiental, que reflete a expansão das áreas agrícolas e urbanas na bacia, e da dimensão Política, que reflete os resultados da queda expressiva do IDH-Educação ocorrida no período. Na componente Estado o pior resultado também foi aquele relacionado a um indicador da dimensão Ambiental, devido ao baixo percentual de vegetação natural remanescente na bacia, como pode ser observado na Figura 02. Quanto à componente Resposta, os piores resultados ficaram com o indicador de quantidade de água da dimensão Hidrológica, uma vez que só foi considerado o índice de perdas no abastecimento público e esse indicador piorou significativamente na bacia, e com o indicador da dimensão Social, que reflete a variação negativa do IDH no período.

Figura 2: Uso e ocupação do solo, nos anos de 2005, 2010 e 2015. Fonte: Autoria Própria.



Para o período 2010-2015 o valor obtido para o WSI foi de 0,55, elevando a bacia para um nível médio de sustentabilidade ( $0,5 < \text{WSI} < 0,8$ ), mas os resultados dos indicadores de cada dimensão oscilaram bastante em relação ao período anterior (Tabela 7).

Tabela 7: Resultado dos indicadores e do WSI para o período 2010-2015.

WSI (2010-2015) =		0,55		Pressão		Estado		Resposta	
Dimensão/Indicador		Nível	Escore	Nível	Escore	Nível	Escore		
<i>Hidrológica</i>	<i>Quantidade</i>	-14,5%	0,25	6943,1	1,00	Regular	0,50		
	<i>Qualidade</i>	-3,8%	0,25	62,3	0,75	Regular	0,50		
<i>Ambiental</i>		20,6%	0,00	2,9%	0,00	0,4%	0,50		
<i>Social</i>		-0,2%	0,50	0,77	0,75	5,2%	0,50		
<i>Política</i>		11,2%	1,00	Boa	0,75	> 100%	1,00		

Fonte: Autoria Própria

O indicador da dimensão Ambiental, novamente, foi o de pior resultado para a componente Pressão, indicando que as áreas agrícolas e urbanas continuavam em expansão na bacia. De positivo aparece a melhora do indicador da dimensão Política, refletindo a retomada do crescimento do IDH-Educação nesse período. Na componente Estado o pior resultado novamente foi o do indicador da dimensão Ambiental, pelo mesmo motivo anteriormente citado. Na componente Resposta, os resultados melhoraram de uma maneira geral.

Em trabalho da Unesco (2008) o índice obtido para o WSI na bacia hidrográfica do rio Reventazón (na Costa Rica) foi igual a 0,74. Chaves (2009) aplicou o WSI em quatro bacias latino-americanas, com resultados de 0,65 para a do rio São Francisco Verdadeiro (no Estado do Paraná), 0,60 para a do ribeirão Pípiripau (no Distrito Federal), 0,47 para a do rio Antaquera (na Bolívia) e 0,75 para a do Canal do Panamá (no Panamá). Cortés *et al.* (2012) obtiveram o resultado de 0,61 para a bacia do rio do Elqui (no Chile). Mais recentemente, Maynard, Cruz e Gomes (2017) obtiveram um resultado de 0,66 para o WSI na bacia do rio Japarutuba (em Sergipe).

Comparando os resultados obtidos para o WSI na bacia do rio Doce, de 0,46 no período 2005-2010 e 0,55 no período 2010-2015, com os encontrados na literatura, pode-se dizer que a situação da bacia é ruim, refletindo a influência dos resultados obtidos, em geral, para os indicadores da componente Pressão e, em especial, os resultados ruins associados aos indicadores ambientais em todas as componentes (Pressão-Estado-Resposta).

Ao analisarmos a evolução do índice de sustentabilidade hídrica nos períodos pré e pós PIRH-Doce, verificamos que o valor do índice WSI se elevou um pouco (de 0,46 para 0,55), saltando de uma condição de nível baixo para nível médio de sustentabilidade. Olhando em detalhe, é possível perceber que a evolução, no entanto, não é positiva em todas as dimensões avaliadas. A única dimensão que variou de forma significativa foi a Política, em que a média dos parâmetros saltou de 0,58, no período pré-Plano, para 0,92, no período pós-Plano. As médias dos parâmetros das demais dimensões oscilaram pouco ou se mantiveram estáveis. A dimensão Hidrológica foi a única que piorou, relacionada à piora da qualidade de água, enquanto a dimensão Ambiental se manteve estável, mas num patamar muito ruim. A média dos indicadores da dimensão Ambiental foi igual a 0,17 nos dois períodos analisados, o que pode demonstrar o elevado estágio de urbanização e desmatamento da bacia do rio Doce, demandando bastante atenção.

Pelo fato da metodologia do índice WSI utilizada considerar algumas simplificações, como no cálculo do parâmetro quantitativo da dimensão Hidrológica-Resposta, que avalia a

eficiência do uso da água somente pela perda de água nos sistemas de abastecimento, sem considerar as perdas em sistemas de irrigação, que são grandes consumidores de água, o valor do indicador calculado poderia ser pior do que o valor encontrado. Além disso, a metodologia adotada também pode suscitar discussões quanto às dimensões consideradas, uma vez que se restringe a quatro dimensões, enquanto alguns trabalhos propõem a análise de até nove dimensões da sustentabilidade. Sachs (2002), por exemplo, propõe a análise de oito dimensões.

Cabe ressaltar, no entanto, que o WSI continua sendo objeto de aprimoramento, inclusive com a sua junção com métodos multicritérios e multidecisor, como o trabalho desenvolvido por Costa e Silva (2017) para a bacia do rio Piranhas-Açu.

Apesar da pequena melhora no índice WSI, não é possível associá-la à aprovação e implementação do PIRH-Doce. O plano apresenta 31 programas de ações para orientar a sua implementação. O investimento total para execução dos 31 programas soma 1,345 bilhão de reais. De acordo com o PIRH-Doce, o volume de recursos previstos para ser investido entre 2010 e 2015, era de R\$ 1.059.253.194, o que representa 78,6% do total, em valores nominais de 2010. No entanto, apenas 2,71% dos recursos previstos foram aplicados, inclusive 17 dos 31 programas identificados sequer foram iniciados até 2015, horizonte final do trabalho. Além disso, o parâmetro que proporcionou o crescimento da dimensão Política (única com significativo aumento de escore) foi o IDH-Educação, cujo cálculo leva em conta aspectos relacionados à educação formal e não à educação ambiental ou capacitação para gestão de recursos hídricos, previstas no Plano. O baixo nível de implementação orçamentária dos programas previstos no PIRH-Doce podem ter concorrido para a baixa evolução no nível de sustentabilidade na bacia entre os períodos pré e pós Plano.

### **3 CONCLUSÃO**

O WSI calculado para a bacia no período anterior e posterior ao PIRH foi 0,46 e 0,55, respectivamente, resultando em valores que expressam baixo e médio níveis de sustentabilidade, respectivamente, com destaque negativo para a dimensão ambiental, que deve inspirar maior atenção dos tomadores de decisão na bacia.

Os resultados da avaliação para a bacia do rio Doce demonstram que a visão de sustentabilidade deve estar presente no desenvolvimento de um Plano de Bacia e que a aplicação de um índice de sustentabilidade hídrica pode ser uma importante ferramenta para auxiliar na elaboração e no acompanhamento desse instrumento, orientando as discussões em todas as etapas, subsidiando desde a definição de objetivos até a tomada de decisão.



## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Plano de Recursos Hídricos: o caminho para o desenvolvimento sustentável nas bacias hidrográficas.** 2020. Disponível em: < <https://agerh.es.gov.br/Not%C3%ADcia/plano-de-recursos-hidricos-o-caminho-para-o-desenvolvimento-sustentavel-nas-bacias-hidrograficas>>. Acesso em: 24/11/2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Encarte especial sobre a bacia do Rio Doce. O rompimento da barragem de Mariana.** Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. Brasília, DF. 2016.

BELLEN, M.V. **Indicadores de sustentabilidade – um levantamento dos principais sistemas de avaliação.** Cadernos EBAPE.BR, v. II, n. 1, Rio de Janeiro, 2004.

BRASIL. Lei n. 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial [ da ] República Federativa do Brasil**, Brasília, 08 jan. 1997.

CBH-DOCE – COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE. Consulta ao site <http://www.cbhdoce.org.br>. Acesso em 09/12/2019.

CHAVES, H.M.L. Avaliação integrada da sustentabilidade de quatro bacias hidrográficas latinoamericanas. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais.** Campo Grande, 2009.

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.

CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME. **Plano integrado de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Doce e planos de ações para as unidades de planejamento e gestão de**

**recursos hídricos no âmbito da bacia do rio Doce.** Contrato N° 043/2008 – IGAM, v. 1, 472 p. 2010.

CORTÉS, A.E., OYARZÚN, R., KRETSCHMER, N., CHAVES, H., SOTO, G., SOTO, M., AMÉZAGA, J., OYARZÚN, J., RÖTTING, T., SEÑORET, M., MATURANA, H. Application of the Watershed Sustainability Index to the Elqui river basin, North-Central Chile. **Obras y Proyectos**, nº 12, p. 57-69, 2012.

COSTA E SILVA; D.D. **Aplicação do Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas no Rio Piranhas-Açu a partir dos Métodos Multicritério e Multidecisor.** Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais. Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande. 2017.

FEIL, A.A.; SCHREIBER, D. Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: desvendando as sobreposições e alcances de seus significados. **Cadernos EBAPE.BR**, v. 14, n. 3, artigo 7, Rio de Janeiro, 2017.

GALLOPIN, G.C. Environmental and sustainability indicators and the concept of situational indicators. A system approach. **Environmental Modelling & Assessment**, v.1, p.101-117, 1996.

HAMEL, E.H.; GRUBBA, L.S. Desafios do desenvolvimento sustentável e os recursos naturais hídricos. **Revista Brasileira de Direito**, v. 12, n. 1, 2016.

LIMA, J.E.F.W. Recursos hídricos no Brasil e no Mundo. **Planaltina: Embrapa Cerrados**, 2001.

MAYNARD, I.F.N.; CRUZ, M.A.S.; GOMES, L.J. Aplicação de um índice de sustentabilidade na bacia hidrográfica do rio Japarutuba em Sergipe. **Ambiente & Sociedade**. São Paulo, v. XX, n. 2, p. 207-226, abr.-jun. 2017.

MOLDAN, B.; JANOUAKOVÁ, S.; HÁK, T. How to understand and measure environmental sustainability: Indicators and targets. **Ecological Indicators**, v.17, p. 4-13, 2012.

NETO, T. E. Uma análise histórico-jurídica do Código de Águas (1934) e o início da presença do Estado no setor elétrico brasileiro no primeiro Governo Vargas. **Revista Eletrônica História em Reflexão**, v. 9, n. 17, 2015.

PEIXINHO, F.C. Gestão sustentável dos recursos hídricos. **Anais dos XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços**. São Luís, 2010.

REED, M. S.; FRASER, E. G.; DOUGILL, A. J. An adaptive learning process for developing and applying sustainability indicators with local communities. **Ecological Economics**, v. 59, n. 4, p. 406-418, 2006.

SACHS, I. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. 2ªEd.: Rio de Janeiro: Garamond., 2002, 96p.

SETTI, A.A.; LIMA, J.E.F.W.; CHAVES, A.G.M.; PEREIRA, I.C. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. 2ª ed. – Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas, 2000. 207 p.: il.; 23 cm.

SILVA, C. H. R. T. **Recursos Hídricos e Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisa.

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**, Nº 12.,2008.