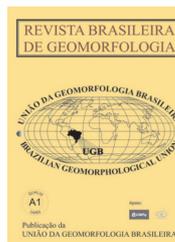


www.ugb.org.br  
ISSN 2236-5664

## Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 21, nº 3 (2020)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v21i3.1746>



# METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE HIDROAMBIENTAL PARA PROJETOS DE INTERVENÇÕES EM RIOS PERENES (MASRIOS): CONCEITO E ESTRUTURAÇÃO DO INSTRUMENTO

## METHODOLOGY FOR HYDRO-ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY ASSESSMENT FOR INTERVENTION PROJECTS IN PERENE RIVERS (MASRIOS): CONCEPT AND STRUCTURING OF THIS INSTRUMENT

**Andreza Tacyana Felix Carvalho**

*Departamento de Geografia, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte  
BR 405, km 3, S/N, Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte. CEP: 59900-000. Brasil*

*ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6642-3802>*

*E-mail: [andrezafelix@uern.br](mailto:andrezafelix@uern.br)*

**Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral**

*Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco  
Rua Acadêmico Hélio Ramos, S/N, Recife, Pernambuco. CEP: 50740-530. Brasil*

*ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1348-8004>*

*E-mail: [jaime.cabral@ufpe.br](mailto:jaime.cabral@ufpe.br)*

### Informações sobre o Artigo

Recebido (Received):

05/08/2019

Aceito (Accepted):

14/04/2020

### Palavras-chave:

Instrumento de Gestão Ambiental; Sistema Fluvial; Indicadores de Impactos Hidroambientais; Dinâmica Hierárquica de Trechos; Análise Integrada.

### Keywords:

Environmental Management Instrument; River System; Hydro-Environmental Impact Indicators; Hierarchical Dynamics Of Stretches; Integrated Analysis.

### Resumo:

Para o julgamento da viabilidade de um projeto de intervenções em cursos d'água em análise pelos órgãos ambientais é necessário abordar os diferentes interesses ambientais, sociais e econômicos. O desafio para avaliações de impactos ambientais desses projetos consiste em considerar os diversos aspectos de sustentabilidade hidroambiental levando em conta a diversidade e complexidade dos sistemas fluviais. Desse modo, com a finalidade de dar subsídios e orientar equipes técnicas de órgãos ambientais no processo de licenciamento de projetos de intervenções em cursos d'água, esta pesquisa de caráter exploratório, descritivo e interpretativo, apresenta como resultado a Metodologia para Avaliação de Sustentabilidade Hidroambiental para projetos de intervenções em rios perenes (MASRIOS). Esta Metodologia proposta é um instrumento de abordagem semiquantitativa de avaliação de sustentabilidade que adota a bacia hidrográfica como unidade de análise territorial. Para isto, está fundamentada através da Classificação fluvial hierárquica de Horton (1945) modificada por Strahler (1952), da Dinâmica hierárquica de trechos desenvolvida por Frissel *et al.* (1986) e, dos Indicadores e Subindicadores de impactos hidroambientais propostos por Carvalho (2018). Por fim, destaca-se que este instrumento tem aplicação exclusivamente à avaliação comparativa dos impactos hidroambientais nos estágios pré e pós implementação de projetos de barragens, dragagens, retificações e requalificações em rios perenes de 1ª e 2ª ordem, a partir da aplicação de dados e informações na escala espacial de observação de 1:1.000 a 1:10<sup>-1</sup>.

## Abstract:

To judge the feasibility of a project for interventions in watercourses under analysis by environmental agencies, it is necessary to address the different environmental, social and economic interests. The challenge for assessing the environmental impacts of these projects is to consider the various aspects of hydro-environmental sustainability taking into account the diversity and complexity of river systems. Thus, with the objective of providing support and guiding technical teams from environmental agencies in the environmental licensing process for watercourse intervention projects, this exploratory, descriptive and interpretive research presents, as a result the Methodology for Hydroenvironmental Sustainability Assessment for intervention projects in perennial rivers (MASRios). The proposed Methodology is a semi-quantitative approach to sustainability assessment, which considers the hydrographic basin as a unit of territorial analysis. For this, the Methodology is based on Hierarchical river classification by Horton (1945) modified by Strahler (1952), from the Hierarchical dynamics of stretches by Frissel *et al.* (1986) and, the Hydro-environmental Impact Indicators and Sub-indicators prepared by Carvalho (2018). Finally, it is noteworthy that this instrument is exclusively applicable for the comparative assessment of the hydro-environmental impacts between the pre and post implementation stages of dams, dredging, rectification and requalification projects in 1st and 2nd order rivers with perennial regime, based on the application of data and information on the spatial observation scale from 1:1,000 to 1:10<sup>-1</sup>.

## 1. Introdução

A Conferência Internacional da Organização das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Brasil na cidade do Rio de Janeiro no ano de 1992, adotou a Agenda 21 para transformar o desenvolvimento sustentável em uma meta global. De acordo com Moldan & Bilharz (1997), um dos principais aspectos levantados nos primeiros encontros desta comissão, foi o da necessidade de se criar padrões que servissem de referência para medir o progresso da sociedade em direção ao que se convencionou chamar de futuro sustentável.

Assim, ao longo dos anos, muitas metodologias e instrumentos de gestão ambiental foram sendo criados, a fim de avaliar a sustentabilidade perante os mais diferentes tipos de intervenções antrópicas sobre o meio ambiente. Neste contexto, foram sendo desenvolvidos Indicadores e Índices de sustentabilidade, bem como a incorporação destes no processo de criação de metodologias de Avaliação de Sustentabilidade (AS) e, na consolidação da Avaliação de Impacto Ambiental (AIA).

Conforme Bellen (2004), apesar da existência de diversos sistemas relacionados à avaliação da sustentabilidade, existem diversos elementos que ainda não estão devidamente estudados e desenvolvidos, tais como: a multidimensionalidade do conceito de desenvolvimento sustentável, a complexidade que decorre da agregação de variáveis não relacionadas diretamente, a questão da transparência em sistemas de avaliação, a existência dos julgamentos de valor e sua ponderação

nos diversos sistemas, o tipo de processo decisório envolvido, bem como o tipo de variável envolvida (qualitativa, quantitativa ou as duas), entre outros.

Segundo Pohl (2005) e Sala *et al.* (2015), a AS é um dos tipos mais complexos de metodologias de avaliação, a qual não simplesmente aborda aspectos multidisciplinares (ambiental, econômico e social), mas também envolve aspectos culturais e de valor sobre os elementos de estudo. Geralmente a AS é conduzida para apoiar a tomada de decisão e o desenvolvimento de políticas em um amplo contexto e, para isto, utiliza-se de ferramentas de instituições para articulação de valor como os Indicadores e/ou Índices.

Entretanto, a burocratização excessiva do processo de AIA e sua aparência como mero pré-requisito administrativo para aprovação do projeto, pode se mostrar como um instrumento ambiental ineficiente. Como citam Pope *et al.* (2013), a falta da integração de questões de sustentabilidade mais amplas dentro da AIA, apresenta este instrumento como problema potencial à análise pois, embora a prática esteja bem estabelecida, a ameaça de ser simplificada por instituições políticas por percebê-la como um obstáculo para o ‘desenvolvimento econômico’, pode inclusive torná-la ineficaz.

Desse modo, considerando Carvalho (2018) e Carvalho & Cabral (2020), compreende-se que as metodologias voltadas às AIAs comumente utilizadas nos estudos ambientais, se apresentam de forma genérica e tentam atender por muitas vezes de forma adversa às finalidades de sua concepção e aos diferentes objetos e

objetivos dos projetos em questão. Entretanto, quando baseadas em Indicadores e/ou Índices de Sustentabilidade a AS pode funcionar como um importante instrumento ambiental, uma vez que traz em seu âmbito, a agregação de aspectos intrínsecos à análise de impactos previstos pela implantação de um determinado empreendimento/atividade no meio ambiente.

Assim, não diferentemente disto, os cursos d'água apesar de possuírem função fundamental para a dinâmica e equilíbrio ambiental, sofrem diversas pressões sociais e econômicas derivadas do modelo de desenvolvimento socioeconômico do contexto em que se inserem. Em vista disto, quando submetidos ao licenciamento ambiental, estes projetos também passam pelo emprego de métodos genéricos e metodologias fundamentadas a partir de Termos de Referência (TRs).

Porém, embora seja um documento norteador constituído a partir de estudos técnicos preliminares e orientações sobre os elementos necessários e suficientes, com nível de precisão adequado para caracterizar o objeto de demanda de análise, devido a uniformidade de pontos, critérios e elementos básicos para elaboração de estudos específicos, o TR pode não garantir a qualidade dos estudos ambientais.

Neste sentido, as intervenções estruturais quando projetadas para este tipo de ambiente, precisam abordar e contemplar as diferentes perspectivas nos âmbitos ambiental, social e econômico para atingir os objetivos da sustentabilidade. Pois, “reconhecendo que não se pode gerenciar aquilo que não é medido, é importante medir o desempenho de um determinado sistema para verificar se o mesmo está alcançando suas metas e compará-lo com outros. Essa avaliação fornece as informações necessárias para a tomada de decisões, o alcance de um padrão de referência e a promoção da melhoria contínua (VELEVA *et al.*, 2001).

Contudo, compreendendo que “todas as definições e ferramentas relacionadas à sustentabilidade devem considerar o fato de que não se conhece totalmente como o sistema opera. Pode-se apenas descobrir os impactos ambientais decorrentes de atividades e a interação com o bem-estar humano, com a economia e com o meio ambiente. Pois, em geral, sabe-se que o sistema interage entre as diferentes dimensões, mas não se conhece especificamente o impacto dessa interação” (BELLEN, 2004), bem como, os impactos cumulativos decorrentes da capacidade de impactos se sobreporem

no tempo e/ou no espaço de forma associada ou não ao empreendimento ou atividade em análise.

Desse modo, este trabalho, considerando que “(...) a finalidade da avaliação da sustentabilidade é fornecer aos tomadores de decisão uma avaliação dos sistemas em termos de perspectivas de curto e longo prazo, a fim de ajudá-los a determinar quais ações devem ou não devem ser realizadas na tentativa de tornar a sociedade sustentável” (TELES *et al.*, 2013), tem como objetivo, apresentar o conceito e a estruturação da ‘Metodologia para Avaliação de Sustentabilidade Hidroambiental para projetos de intervenções em rios perenes (MASRios).

Esta Metodologia tem como proposta, ser um instrumento de avaliação de sustentabilidade hidroambiental, direcionado especificamente à avaliação comparativa das condições pré e pós implementação de projetos de barragens, dragagens, retificação e, de requalificação em cursos d'água de regime perene de 1ª e 2ª ordem conforme Classificação fluvial hierárquica de Horton (1945), modificada por Strahler (1952). Sua estrutura possui a análise da organização dos sistemas fluviais baseada na abordagem da Dinâmica hierárquica de trechos desenvolvida por Frissel *et al.* (1986), que é composta pela integração das perspectivas de análise de trecho (descontinuidade/heterogeneidade) e de rede fluvial (continuidade e relações factuais), considerando eventos ou processos que controlam o habitat do curso d'água em diferentes escalas espaço-temporais no intervalo de 1:1.000 a 1:10<sup>1</sup>.

Segundo Marçal & Lima (2016), em sistemas fluviais, a complexidade dos processos geomorfológicos, hidrológicos e bióticos operando sobre múltiplas escalas espaciais e temporais, produzem heterogeneidade espacial. Todavia, de acordo com Frissel *et al.* (1986), a referida abordagem indicada para análise de rios de 1ª e 2ª ordem, está baseada na perspectiva de escalas espaciais que permitem uma sistemática interpretação e descrição dos relacionamentos do curso d'água com a bacia hidrográfica. Pois, ao enfatizar os controles na escala da bacia hidrográfica com as relações factuais e, a visão de trechos, na descontinuidade e nos controles locais do curso d'água, esta abordagem pode ser empregada para determinação dos impactos locais das práticas de uso da terra a partir de dados específicos do local e de avaliações.

Por fim, com o objetivo de dar subsídio técnico-científico às equipes técnicas de AIA de órgãos am-

bientais e, grupos não especializados envolvidos no processo de licenciamento ambiental de projetos de barragens, dragagens, retificações e requalificações de cursos d'água, são empregados para a mensuração da inter-relação dos impactos hidroambientais envolvidos nestes casos, os Indicadores de impactos hidroambientais propostos por Carvalho (2018). Estes indicadores são formados por um conjunto de 18 (dezoito) subindicadores voltados à qualificação e quantificação de impactos ambientais, sociais e econômicos envolvidos nestes tipos de projetos.

## 2. Revisão de Literatura

### 2.1 Avaliação de sustentabilidade no processo de Avaliação de Impacto Ambiental

A Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) é vista no paradigma da ciência aplicada como um processo no qual a ciência, o conhecimento e a experiência são colocados em aplicação prática (CASHMORE, 2004). Como instrumento legal de gestão ambiental para a tomada de decisões, "(...) já existe desde a promulgação da Lei Nacional do Meio Ambiente de 1969 nos Estados Unidos, e desde então se espalhou pelo mundo para quase todos os países" (MORGAN, 2012).

Desse modo, a AIA deve contar com ferramentas metodológicas para elaboração e embasamento de seus estudos ambientais a fim de oferecer fundamentação na identificação, na análise e na avaliação dos impactos ambientais decorrentes das intervenções antrópicas planejadas e aplicadas. Contudo, como cita Bond *et al.* (2016), a eficácia da AIA depende de vários mecanismos de controle: processuais, judiciais, avaliativos, órgãos públicos e governamentais, profissionais, e de políticas de públicas.

Nesta perspectiva, entende-se que a Avaliação de Sustentabilidade (AS) enquanto uma metodologia de avaliação, pode ser um importante instrumento de gestão ambiental para embasamento da análise do conjunto de dados e informações contidas nestes estudos ambientais. Lee (2006), Bond *et al.* (2011) e Bond *et al.* (2012) citam que este tipo de metodologia assegura mais atenção direta, efetiva e eficiente à interação dos fatores sociais, econômicos e ambientais envolvidos no processo de avaliação de uma determinada intervenção antrópica no meio ambiente.

De acordo com Bond *et al.* (2012) e Masud *et al.*

(2018), a AS é considerada como a geração seguinte da avaliação de impacto ambiental e da avaliação ambiental estratégica, uma vez que, abordam principalmente os impactos associados através de indicadores, comunicando informações essenciais à tomada de decisão por parte dos usuários e dos formuladores de políticas.

Dessa forma, o objetivo da aplicação desse tipo de metodologia é "a realização de uma avaliação de sustentabilidade, começando com a compreensão do contexto de planejamento, incluindo o contexto regulatório e institucional e as restrições que isso possa colocar na prática; a natureza da política, plano ou programa que está sendo avaliado; e os recursos disponíveis para realizar a avaliação" (LEE, 2006), para que "os planos e as atividades contribuam de forma ótima para o desenvolvimento sustentável" (VERHEEM, 2002).

Neste caso, "o processo de AS pode ser o meio pelo qual um problema é estruturado e estratégias alternativas para resolver esses problemas são desenvolvidas e avaliadas "(POPE *et al.*, 2017); porém, sua eficácia pode ser "(...) altamente contestada devido à natureza baseada no valor do objetivo assumido (desenvolvimento sustentável), porque a própria eficácia pode ser determinada através de diferentes enquadramentos teóricos" (BOND *et al.*, 2011). Além disso, de acordo com Campos *et al.* (2014), sabe-se que mensurar a sustentabilidade requer a integração de um grande número de informações advindas de uma pluralidade de disciplinas e áreas de conhecimento.

Sobre isto, indica-se que "as ferramentas de avaliação definidas como as várias técnicas analíticas, que podem ser utilizadas para conduzir análises/comparações dentro de quadros como da AIA" (GASPARATOS, 2010), devem tentar entender um sistema e oferecer informações em um formato que possa auxiliar o processo de tomada de decisão (GASPARFATOS *et al.*, 2009; MARTINET, 2011). Desde então, este tipo de análise perante os cenários ambientais tornou-se o principal desígnio no processo de AIA, para aplicação e monitoramento de um determinado projeto, já que, a subjetividade e a imprecisão preditiva na AIA não são problemas, mas elementos para promover e envolver o próprio processo. Pois, uma decisão satisfatória no fim de uma AIA específica não é o único objetivo do processo, pois, o desafio está em "reconhecer, compreender e considerar a incerteza para garantir uma boa AIA" (LEUNG *et al.*, 2015).

No entanto, diante da complexidade e diversidade de impactos ambientais, sociais e econômicos derivados de uma determinada aplicação de projeto, estas ferramentas possuem como desafio, a quantificação e/ou qualificação da sustentabilidade, onde a sua utilização na AS “(...) consiste na elaboração de metodologias adequadas que permitam avaliar a sustentabilidade de posto existir diferentes características e peculiaridades inerentes aos aspectos sociais, econômicos, ambientais, culturais e institucionais” (CARVALHO *et al.*, 2011).

À vista disto, este tipo de Avaliação deve ainda “(...) integrar projetos e atividades com o objetivo de promover a recuperação e a preservação da qualidade e quantidade dos recursos das bacias hidrográficas como também a recuperação e preservação de nascentes, mananciais e cursos d’água em áreas urbanas. E para um melhor monitoramento dessa gestão visando a sustentabilidade dos recursos hídricos, será importante a utilização de indicadores de sustentabilidade. Para tanto, os indicadores de sustentabilidade hídrica surgem como ferramentas que ajudam refletir e comunicar uma ideia complexa.” (LACERDA & CÂNDIDO, 2013).

De acordo com Gasparatos (2010), as ferramentas de avaliação mais amplamente utilizadas são os Indicadores e Índices de Sustentabilidade, os quais podem ser de vertente econômica (por exemplo, CBA, Whole Life Costing), biofísicas (por exemplo, análise de fluxo de materiais, pegada ecológica, contabilidade de energia), listas de indicadores / índices compostos e Análise multicritérios (MCA), entre outros.

No Brasil, a Resolução nº 237, de 19 de dezembro de 1997, vinculou à legislação ambiental do país, a necessidade de se incorporar ao sistema de licenciamento ambiental os instrumentos de gestão ambiental, visando a aplicação do desenvolvimento sustentável e a melhoria contínua do processo de análise e avaliação ambiental. Com este entendimento foram então definidos e revisitos instrumentos, procedimentos e critérios utilizados no processo de licenciamento ambiental, de forma a efetivar a utilização do sistema de licenciamento como instrumento de gestão ambiental no país.

## **2.2 Sustentabilidade hidroambiental na gestão de recursos hídricos**

Os sistemas hídricos são complexos e dinâmicos, e a previsão dos impactos sobre eles por muitas vezes torna-se difícil e incerta. Conforme Shakib-Manesh *et*

*al.* (2014), mesmo os trabalhos de construções hidráulicas em pequena escala, como dragagem, construção de paredes laterais nos rios, podem ter impactos negativos na natureza, na paisagem e na qualidade da água e por este motivo, devem ser bem planejadas, estruturadas e acompanhadas ao longo do tempo.

Assim, compreendendo que a gestão ambiental e de recursos hídricos possuem significativo papel e desafio para este tipo de controle, uma vez que deve considerar o estado atual do sistema fluvial e das diferentes demandas dos fatores e atores envolvidos, entende-se que é preciso trabalhar sobre as perspectivas da sustentabilidade hídrica e ambiental como forma de garantir a qualidade do ambiente e de seus recursos para as futuras gerações. Salman & Bradlow (2006) ao estudarem de forma comparativa os quadros regulatórios dos instrumentos, estruturas e elementos essenciais para gestão de recursos hídricos em 16 (dezesseis) territórios político-administrativos (Armênia, Brasil, Camarões, China, Costa Rica, União Europeia, França, Alemanha, Cazaquistão, México, Marrocos, Nepal, Senegal, África do Sul, Vietnã e Iémen), reforçaram a necessidade de se repensar e aplicar a gestão de recursos hídricos no topo das agendas e planos, integrando as esferas gerencial, tecnológica, financeira, social, econômica, política, institucional e jurídica, confirmando assim, a natureza multidisciplinar e transdisciplinar da água.

Desse modo, como meio de realizar uma gestão integrada de recursos hídricos, destaca-se que os planos e projetos que envolvem questões ligadas a este tipo de recurso, devem ser desenvolvidos em consonância com as políticas públicas ambientais e de recursos hídricos, corroborando o que se chama de sustentabilidade hidroambiental.

Segundo Vieira (1996), o termo *sustentabilidade hidroambiental* abrange a gestão integrada de recursos hídricos de uma região, considerando a abrangência de vários aspectos como o ciclo hidrológico, em suas fases superficial, subterrânea e aérea; os usos múltiplos da água; o inter-relacionamento dos sistemas naturais e sociais; a interdependência dos componentes econômicos, sociais, ambientais e políticas de desenvolvimento que, na contemporaneidade, encontram-se qualificados no modelo de desenvolvimento sustentável. Alizadeh *et al.* (2017) citam que este tipo de perspectiva promove uma tomada de decisão com vários critérios, que sempre exige a associação da qualidade e quantidade socioeconômica, ambiental e da água.

No caso do Brasil, a Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA) através da Lei Federal nº 6.938/1981 introduziu oficialmente o conceito de sustentabilidade na gestão ambiental do País. Com o objetivo principal de preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental, associou-se à promoção de condições de desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana. Entretanto, apesar do marco legal que estabeleceu o gerenciamento integrado dos recursos hídricos ter sido claramente fixado no inciso XIX do artigo 21 da Constituição Federal de 1988, “a falsa concepção de abundância foi responsável, por muito tempo, pela falta de um sistema de gerenciamento integrado dos recursos hídricos, o que acarretou a cultura do desperdício da água potável, não proporcionou os investimentos necessários em tratamento de esgotos domésticos para proteger a qualidade das águas fluviais e não atribuiu o devido valor econômico à água” (CAMPOS, 2005), bem como, não reconheceu o valor ambiental deste recurso e de suas fontes.

Com a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, foi implementada a gestão integrada dos recursos hídricos no Brasil, por meio da criação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNRH). Porém, apenas a partir da criação da Agência Nacional das Águas (ANA) no ano de 2000, conforme cita Campos (2005), é que o interesse pelos recursos hídricos do País aumentou consideravelmente, ao serem apresentados pela mídia reflexões e debates, não só de especialistas do setor, mas de toda a sociedade, numa indicação de que um grande passo estaria sendo dado no Brasil no sentido da implantação de um modelo sustentável de desenvolvimento, baseado no aproveitamento racional da água.

### 3. Metodologia

O processo metodológico empregado para o desenvolvimento desta pesquisa está estruturado a partir da abordagem descritiva, comparativa e interpretativa, sendo fundamentada através de revisão bibliográfica e documental. Desse modo, para composição estrutural do instrumento de avaliação, esta pesquisa considera a bacia hidrográfica como unidade territorial de análise, utiliza-se da Classificação fluvial hierárquica de Horton (1945) modificada por Strahler (1952), e adota a aborda-

gem da Dinâmica hierárquica de trechos desenvolvida por Frissel *et al.* (1986).

Esta abordagem diferencia a análise espacial das variáveis/subindicadores a partir de uma hierarquia, na qual o ambiente fluvial definido pela bacia hidrográfica é compreendido como um ambiente composto por subsistemas em níveis mais baixos seguidos de sua respectiva escala espacial de observação para coleta de dados e informações: sistema de fluxo (1:1.000), segmento ou trecho do curso d'água (1:100), alcance (1:10), real (1:1) e microhabitat (1:10<sup>-1</sup>). Neste sentido, para segmentação estrutural são adotadas duas etapas procedimentais baseadas em Rabelo & Lima (2007), Toro *et al.* (2013), Bomfim *et al.* (2015) e Rodrigues *et al.* (2016), e para o procedimento de quali-quantificação dos impactos hidroambientais são empregados os Indicadores e Subindicadores de impactos hidroambientais propostos por Carvalho (2018).

Estes Indicadores e Subindicadores são amparados por concepções técnico-científicas e tem seus pesos relativos estabelecidos a partir de contribuições diretas de especialistas técnicos da área de recursos hídricos e/ou avaliação de impacto ambiental (Quadro 1). Além disso, ressalta-se que a escolha por sua utilização se deve ainda pois, sua composição respeita a definição das escalas de análise previstas pela Dinâmica hierárquica de trechos, possibilitando assim, a obtenção de dados e informações a serem aplicados na Metodologia proposta.

Segundo Carvalho (2018), os Indicadores e Subindicadores de impactos hidroambientais estão embasados no conceito de sustentabilidade hidroambiental e, podem demonstrar quali-quantitativamente de forma simplificada, a condição atual de aspectos ambientais, sociais e econômicos ligados ao sistema fluvial em estudo, bem como, os impactos positivos e negativos resultantes da possível implementação de projetos de barragens, dragagens e retificações fluviais. Assim, na primeira etapa metodológica para estruturação da MASRios são efetuados em planilhas eletrônicas criadas no Microsoft Excel® - versão 2016, os seguintes passos procedimentais:

**1º passo** – Utilização dos Subindicadores de cada grupo de Indicador Hidroambiental com seus respectivos códigos e valores de pesos relativos, assim como, o uso de Tabela de referência e planilha eletrônica de ‘Relação de Impactos Hidroambientais’, desenvolvidos por Carvalho (2018) (Quadros 1 e 2), para composição de planilha de ‘Matriz de Indicadores de Impactos

Hidroambientais'. Esta Matriz tem como perspectiva de análise, a diferença quantitativa entre as condições hidroambientais de estágio pré e pós no trecho do curso

d'água e na área da bacia hidrográfica considerando a implementação de determinado projeto, obedecendo as especificações do subindicador em avaliação.

**Quadro 1: Indicadores e subindicadores de impactos hidroambientais componentes da MASRios com seus respectivos códigos e pesos relativos.**

TEMA	Indicadores de Impactos	Subindicadores	Código	Peso relativo
AMBIENTAL	Hidrogeomorfológico	Qualidade de água	AMB1A	0,192
		Vazão	AMB2A	0,166
		Morfometria fluvial	AMB3A	0,159
	Biodiversidade	Composição e abundância da flora aquática	AMB1B	0,155
		Composição e abundância dos invertebrados bentônicos	AMB2B	0,155
		Composição, abundância e estrutura etária da fauna piscícola	AMB3B	0,173
SOCIAL	Saneamento	Esgotamento sanitário	SOC1A	0,161
		Abastecimento de água	SOC2A	0,135
		Resíduos sólidos	SOC3A	0,147
		Drenagem Urbana	SOC4A	0,142
	Uso e ocupação do solo	Ocupação urbana da bacia hidrográfica	SOC1B	0,135
		Áreas de preservação permanentes do curso d'água	SOC2B	0,151
		Densidade populacional	SOC3B	0,130
ECONÔMICO	Valor da água	Usos da água	ECN1A	0,240
		Custo médio da água	ECN2A	0,204
	Valorização de imóveis devido a projetos de intervenções fluviais	Controle de riscos	ECN1B	0,189
		Integração urbanística	ECN2B	0,202
		Infraestrutura	ECN3B	0,165

Fonte: Carvalho (2018)

**2º passo** – Elaboração de planilhas eletrônicas dedicadas a cada grupo de Indicador (ambiental, social e econômico) para normalização dos valores da 'Relação Impactos Hidroambientais' de cada subindicador, afim de eliminar os efeitos das diferentes escalas espaciais de coleta de dados e, de unidades de medidas. Conforme Bomfim *et al.* (2015), este tipo de procedimento assegura que cada variável empregada no cálculo de cada indicador temático tenha o mesmo

tipo de unidade de mensuração (adimensional), com pesos relativos proporcionais à importância dada aos subindicadores, considerando especificamente o conjunto de valores de cada análise. Diante disso, os dados de cada subindicador foram inseridos em sua planilha, sendo calculada a média e o desvio padrão de cada subindicador e indicador temático a partir da Equação 1, utilizada por Calório (1997) e aperfeiçoada por Daniel *et al.* (2001).

$$vp_n = \frac{5 + (x_n - \bar{x})}{s} \tag{1}$$

onde:

$vp_n$  : valor normalizado do indicador;

$x_n$  : dimensão real do indicador;

$\bar{x}$  : valor médio de todos os indicadores;

$s$  : desvio-padrão de todos os indicadores;

5 : constante para eliminar valores negativos ou iguais a zero.

**3º passo** - Definição dos valores dos impactos hidroambientais no trecho do rio e na bacia hidrográfica a partir dos ‘Fatores de ponderação de abrangência espacial dos níveis dos impactos hidroambientais’ identificados para cada subindicador e, para utilizados para composição de ‘Matriz de indicadores de impactos hidroambientais’. Neste caso, a ponderação da escala definida pelo pesquisador adota a abrangência espacial do impacto hidroambiental, a partir da relação entre a extensão do trecho (montante e jusante) do curso d’água e, a área da sua bacia hidrográfica (Quadro 3). Os valores relativos aos pesos dos fatores de ponderação dos subindicadores para abrangência espacial do impacto são atribuídos distintamente para cada caso de projeto em análise, sendo consideradas as seguintes

características da geomorfologia fluvial: área da bacia hidrográfica (km<sup>2</sup>), o comprimento do curso d’água (km) e o comprimento do trecho objeto de intervenção (km). A Equação 2, mostra esta relação para identificação do fator espacial para o trecho do curso d’água (x), a Equação 3, para identificação de fator espacial para a bacia hidrográfica e, o Quadro 4, apresenta a planilha eletrônica ‘Fatores de ponderação de abrangência espacial dos níveis dos impactos hidroambientais’:

$$K(x) = \frac{\left(\frac{L}{A}\right) \cdot l}{10} \tag{2}$$

onde:

**K (x)**: fator de ponderação de abrangência espacial do impacto no trecho do curso d’água objeto de intervenção;

**L** = comprimento total do curso d’água (km);

**A** = área da bacia hidrográfica em qual o curso d’água se insere (km<sup>2</sup>);

**l** = comprimento do trecho do curso d’água, objeto de intervenção (km);

sendo que,

$\frac{L}{A}$  = densidade da drenagem.

**Quadro 2: Exemplo de planilha eletrônica ‘Relação de Impacto Hidroambiental’ referente à relação do impacto do subindicador vazão**

Vazão média (m <sup>3</sup> /s)				
Ponto de observação	Pré	Pós	Resultado	Tipo de Impacto
Montante	0,07	0,07	0,00	Positivo
Jusante	0,30	0,30	0,00	Positivo
Total trecho	0,19	0,19		

Fonte: Carvalho (2018)

**Quadro 3: Perspectiva de análise e fator de ponderação de ocorrência de impactos hidroambientais sobre o ambiente fluvial**

Perspectiva espacial de ocorrência dos impactos hidroambientais	Fator de ponderação de abrangência espacial do impacto
<b>Trecho:</b> quando o impacto se estende para além do pontual, porém confinado ao trecho a montante e/ou a jusante do curso d’água, objeto de intervenção	x
<b>Bacia:</b> quando o impacto observado extrapola os limites do trecho de intervenção, afetando áreas adjacentes, à jusante e/ou à montante da intervenção	y

**Quadro 4: Exemplo de planilha eletrônica com os elementos componentes dos ‘Fatores de ponderação de abrangência espacial do impacto’ e seus valores experimentais**

Área da bacia hidrográfica (km <sup>2</sup> )	Cumprimento do curso d’água (km)	Cumprimento do trecho objeto de intervenção (km)	Fator de ponderação de abrangência espacial do impacto para o trecho do curso d’água (x)	Fator de ponderação de abrangência espacial do impacto para bacia hidrográfica (y)
4,81	4,38	4,27	0,39	9,61

$$K(y) = 10 - K(x) \quad (3)$$

onde:

**K (y):** fator de ponderação de abrangência espacial do impacto da bacia hidrográfica, do curso d’água objeto de intervenção;

**K (x):** fator de ponderação de abrangência espacial do impacto do trecho do curso d’água objeto de intervenção

4º passo – Criação da ‘Matriz de Indicadores de Impactos Hidroambientais’ composta pelas matrizes temáticas de Indicadores Ambientais, Indicadores Sociais e Indicadores Econômicos. Cada uma delas com suas respectivas particularidades de importância, componentes e influência representadas através dos valores dos pesos dos indicadores e, valores dos impactos na bacia hidrográfica e no trecho do curso d’água objeto de estudo através dos fatores de ponderação. Para isto, utiliza-se também do recurso de planilha eletrônica automática, com o objetivo de agregar de forma qualitativa os dados coletados, possibilitando de forma consistente, uma análise integrada da situação em análise, potencializando a multidisciplinaridade e a

transdisciplinaridade sugerida pela MASRios (Quadros 5, 6 e 7).

Na segunda etapa metodológica, considerando a utilização da matriz de correlação elaborada (Matriz de Indicadores de Impactos Hidroambientais), as informações geradas são organizadas também em planilha eletrônica e projetadas para apresentação dos seus resultados em gráficos do tipo radar. Nesta etapa, cada tipo de indicador apresenta-se a partir de um gráfico composto por seus respectivos subindicadores, particularidades de importância e de influência indicadas. Nesta etapa são empregados passos metodológicos baseados em Bomfim *et al.* (2015) e Braulio-Gonzalo *et al.* (2015):

**1º passo** – Construção de gráfico do tipo radar em planilha eletrônica, para cada Grupo de Indicador temático (Ambiental, Social e Econômico) a partir da aplicação dos valores obtidos com o uso da Matriz de Indicadores de Impactos Hidroambientais, na condição de pré (atual) e pós implementação do projeto objeto de análise e, para o campo resultado de impactos.

**2º passo** – Cálculo do ângulo formado por dois subindicadores de impactos hidroambientais adjacentes, conforme Equação 4.

**Quadro 5: Layout da planilha eletrônica automática ‘Matriz dos indicadores de impactos hidroambientais’ com os valores /pesos dos indicadores de impactos ambientais.**

Indicadores de Impactos Ambientais				Hidromorfológico			Biodiversidade			Averiguação fatores de ponderação
Fatores de ponderação (K)				AMB1A	AMB2A	AMB3A	AMB1B	AMB2B	AMB3B	0,335
Valores dos Impactos	Trecho (x)	Pré	0,39	0,202	0,130	0,156	0,132	0,132	0,147	
		Pós		0,183	0,130	0,354	0,147	0,147	0,165	
	Bacia hidrográfica (y)	Pré	9,61							
		Pós								
Resultado do impacto				0,019	0,000	-0,199	-0,016	-0,016	-0,018	-0,23

**Quadro 6: Layout da planilha eletrônica automática ‘Matriz dos indicadores de impactos hidroambientais’ com os valores/pesos dos Indicadores de impactos sociais.**

Indicadores de Impactos Sociais				Saneamento				Uso e ocupação do solo			Averiguação fatores de ponderação
Fatores de ponderação (K)				SOC1A	SOC2A	SOC3A	SOC4A	SOC1B	SOC2B	SOC3B	0,358
				0,161	0,135	0,147	0,142	0,135	0,151	0,130	
Valores dos Impactos	Trecho (x)	Pré	0,39								
		Pós									
	Bacia hidrográfica (y)	Pré	9,61	2,063	1,715	1,884	5,472	1,980	1,889	1,232	
		Pós		2,063	1,715	1,884	5,472	1,980	1,864	1,232	
Resultado do impacto				0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,024	0,000	0,02

**Quadro 7: Layout da planilha eletrônica automática ‘Matriz dos indicadores de impactos hidroambientais’ com os valores/pesos dos indicadores de impactos econômicos.**

Indicadores de Impactos Econômicos				Valor da água		Projetos de intervenções fluviais			Averiguação o fatores de ponderação
Fatores de ponderação (K)				ECN1A	ECN2A	ECN1B	ECN2B	ECN3B	0,307
				0,240	0,204	0,189	0,202	0,165	
Valores dos Impactos	Trecho (x)	Pré	0,39	-0,013			-0,055	-0,081	
		Pós		-0,006			-0,022	-0,081	
	Bacia hidrográfica (y)	Pré	9,61	2,934		0,647			
		Pós		2,934		-1,907			
Resultado do impacto				-0,007	0,000	0,000	-0,033	0,000	-0,04

$$\alpha = \frac{360}{N} \cdot \frac{\pi}{180} \quad (4)$$

$$d_n = \sqrt{(vp_n)^2 + (vp_{n+1})^2 - 2(vp_n \cdot vp_{n+1}) \cos \alpha} \quad (5)$$

onde:

$\alpha$  : ângulo formado entre os eixos gráficos radar, em radianos;

$\pi$ : número de indicadores estudados.

**3º passo** – Delimitação e conhecimento do lado desconhecido dos triângulos componentes de cada polígono temático formador no gráfico tipo radar. Considerando que dois lados de cada triângulo possuem medidas iguais à dimensão normalizada de subindicadores adjacentes, determina-se o terceiro lado para que seja possível o cálculo da área de cada triângulo, conforme a Equação 5.

onde:

$d_n$  : lado desconhecido do triângulo;

$vp_n$  : dimensão normalizada do indicador n;

$vp_{n+1}$  : dimensão normalizada do indicador n + 1;

$\cos \alpha$  : cosseno do ângulo  $\alpha$  formado entre os eixos de cada indicador.

**4º passo** – Cálculo do semiperímetro para posterior conhecimento da área total do triângulo de cada subindicador, conforme a Equação 6.

$$P_n = \frac{vp_n + vp_{n+1} + d_n}{2} \quad (6)$$

onde:

$P_n$  : semiperímetro do triângulo;

$vP_n$  : dimensão normalizada do indicador n;

$vP_{n+1}$  : dimensão normalizada do indicador n + 1;

$d_n$  : lado desconhecido do triângulo.

**5º passo** – A partir do semiperímetro encontrado, calcula-se a área do polígono conforme a Equação 7, para todos os grupos de Indicadores de impactos hidroambientais ou indicadores temáticos:

$$S_n = \sqrt{P_n \cdot (P_n - vP_n) \cdot (P_n - vP_{n+1}) \cdot (P_n - d_n)} \quad (7)$$

onde:

$S_n$  : área do triângulo;

$P_n$  : semiperímetro do triângulo;

$vP_n$  : dimensão normalizada do indicador n;

$vP_{n+1}$  : dimensão normalizada do indicador n + 1;

$d_n$  : lado desconhecido do triângulo.

**6º passo** - Ao final, as áreas dos triângulos são somadas para conhecimento e mensuração dos impactos hidroambientais no estado atual e, no estado posterior à

aplicação do projeto proposto, formando então polígonos para cada tipo de indicador (Tabelas 1, 2 e 3). A partir disso, as áreas dos polígonos correspondentes aos impactos temáticos absolutos podem ser comparadas graficamente (Figuras 1, 2 e 3), e os valores relativos a cada grupo de impactos temáticos podem ser aferidos a partir da Equação 8. Sendo o valor final do impacto hidroambiental temático maior que 0, este é considerado impacto positivo, podendo-se entender que o projeto em análise, deve trazer benefícios aparentes quando da sua aplicação.

$$VHI = S_n I - S_n F \quad (8)$$

onde:

**VHI** : valor final do Impacto hidroambiental temático;

**$S_n I$**  : área do triângulo de grupo de impactos temáticos referente aos impactos hidroambientais iniciais/ anteriores à aplicação do projeto em análise;

**$S_n F$**  : área do triângulo de grupo de impactos temáticos referente aos impactos hidroambientais finais à aplicação do projeto em análise.

Tabela 1: Layout da planilha eletrônica automática ‘Áreas e gráficos’ com resultados em áreas totais do polígono referente aos impactos ambientais.

AMBIENTAL		AMB1A	AMB2A	AMB3A	AMB1B	AMB2B	AMB3B
<b>dn</b>	Pré	0,1774	0,1446	0,1451	0,1315	0,1401	0,1810
	Pós	0,1628	0,2241	0,3082	0,1472	0,1568	0,1744
	Impacto	0,0195	0,1985	0,1911	0,0157	0,0167	0,0321
<b>Pn</b>	Pré	0,2548	0,2153	0,2163	0,1973	0,2095	0,2652
	Pós	0,2378	0,3543	0,4049	0,2209	0,2345	0,2610
	Impacto	0,0195	0,0000	-0,0115	-0,0079	-0,0083	0,0170
<b>Sn</b>	Pré	0,0114	0,0088	0,0089	0,0075	0,0084	0,0129
	Pós	0,0103	0,0000	0,0226	0,0094	0,0105	0,0130
	Impacto	0,0000	0,0000	0,0014	0,0001	0,0001	0,0001
<b>Área total</b>	Pré	0,0578					
	Pós	0,0658					
	Impacto	-0,0080					

Tabela 2: Layout da planilha eletrônica automática ‘Áreas e gráficos’ com resultados em áreas totais do polígono referente aos impactos sociais.

SOCIAL		SOC1A	SOC2A	SOC3A	SOC4A	SOC1B	SOC2B	SOC3B
<b>dn</b>	Pré	1,6680	1,5683	4,5418	4,5106	1,6796	1,4772	1,6131
	Pós	1,6680	1,5683	4,5418	4,5106	1,6702	1,4587	1,6131
	Impacto	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0245	0,0245	0,0000
<b>Pn</b>	Pré	2,7229	2,5837	5,9489	5,9810	2,7740	2,2991	2,4541
	Pós	2,7229	2,5837	5,9489	5,9810	2,7571	2,2776	2,4541
	Impacto	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0245	0,0245	0,0000
<b>Sn</b>	Pré	1,3824	1,2627	4,0289	4,2328	1,4611	0,9095	0,9933
	Pós	1,3824	1,2627	4,0289	4,2328	1,4422	0,8977	0,9933
	Impacto	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>Área total</b>	Pré	14,2707						
	Pós	14,2399						
	Impacto	0,0307						

Tabela 3: Layout da planilha eletrônica automática ‘Áreas e gráficos’ com resultados em áreas totais do polígono referente aos impactos econômicos.

ECONÔMICO		ECN1A	ECN2A	ECN1B	ECN2B	ECN3B
<b>dn</b>	Pré	2,9376	2,8017	0,6659	0,0822	0,0777
	Pós	2,9356	3,9631	1,9002	0,0768	0,0790
	Impacto	0,0066	0,0000	0,0330	0,0330	0,0066
<b>Pn</b>	Pré	2,9293	3,1912	0,6291	-0,0265	-0,0078
	Pós	2,9315	2,4950	-0,0141	-0,0128	-0,0039
	Impacto	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>Sn</b>	Pré	0,0177	0,9023	0,0168	0,0021	0,0005
	Pós	0,0085	2,6594	0,0196	0,0008	0,0002
	Impacto	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>Área total</b>	Pré	0,9394				
	Pós	2,6886				
	Impacto	-1,7493				

Figura 1 - Gráfico gerado a partir da planilha eletrônica ‘Áreas e gráficos’ referente aos resultados dos impactos ambientais.

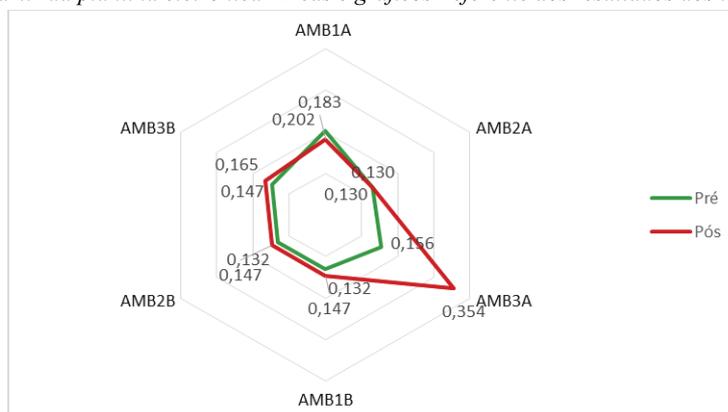


Figura 2 - Gráfico gerado a partir da planilha eletrônica 'Áreas e gráficos' referente aos resultados dos impactos sociais.

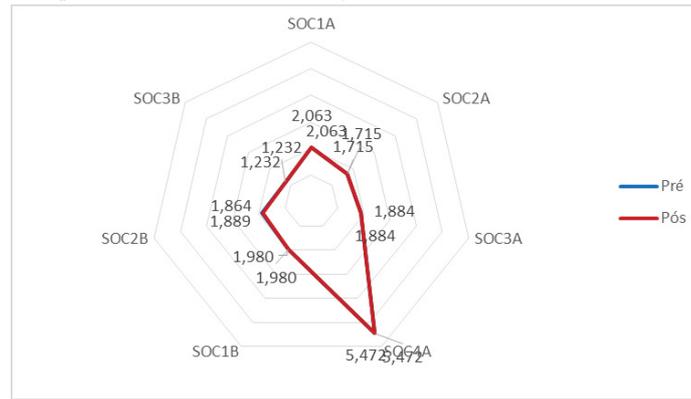
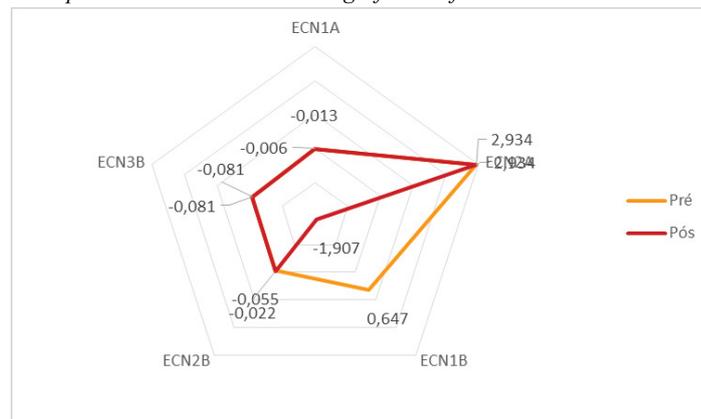


Figura 3 - Gráfico gerado a partir da planilha eletrônica 'Áreas e gráficos' referente aos resultados dos impactos econômicos.



#### 4. Resultados e Discussão

##### 4.1 Conceito e objetivo da Metodologia para Avaliação de Sustentabilidade Hidroambiental para projetos de intervenções em rios perenes (MASRios)

A Metodologia para Avaliação de Sustentabilidade Hidroambiental para projetos de intervenções em rios perenes (MASRios) tem sua concepção direcionada à prestar subsídios técnicos para identificação, predição e avaliação ao instrumento de Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) no processo de licenciamento ambiental de projetos de barragens, retificações de cursos d'água, dragagens, como também aqueles direcionados ao restabelecimento de rios de regime perene. Conforme Souza (2013), é essencial encontrar uma episteme sistêmica que suporte a análise integrada dos diferentes elementos em estudos sobre o ambiente fluvial.

Neste sentido, diante da complexidade dos elementos e agentes envolvidos nesses tipos de projetos, são definidos como conjunto de análise da MASRios, componentes ambientais, sociais e econômicos envol-

vidos nos seus processos de instalação e operação. A referida Metodologia restrita à avaliação de rios de 1ª e 2ª ordem, conforme Classificação fluvial hierárquica de Horton (1945) modificada por Strahler (1952), adota em sua concepção, a Dinâmica hierárquica de trechos desenvolvida por Frissel *et al.* (1986) e os Indicadores e subindicadores de Impactos Hidroambientais de Carvalho (2018). Estes Indicadores são compostos por três grupos de subindicadores definidos por diferentes componentes ou variáveis, sendo eles: indicadores de impactos ambientais, indicadores de impactos sociais e indicadores de impactos econômicos, conforme apresentados no Quadro 1.

A metodologia ao utilizar os indicadores temáticos compostos, produtos da combinação de subindicadores em um único valor, facilita a comparação entre as condições de pré (atual) e pós aplicação de projetos em análise, como também, a partir disso, pode dar suporte na orientação para aplicação de medidas de mitigação e compensação ambiental no processo de licenciamento e controle ambiental. Desse modo, esta compartimen-

tação tem como objetivo, conhecer a situação que se deseja modificar, estabelecer as prioridades, escolher alternativas mais sustentáveis, identificar os objetivos e traduzi-los em metas, para assim, melhor acompanhar o andamento da instalação e operação do empreendimento/atividade, avaliar os impactos produzidos, adotar os redirecionamentos necessários e verificar os resultados e os impactos obtidos.

Quanto à nomenclatura dada ao instrumento, segundo Videira *et al.* (2010) e Pope *et al.* (2017), o termo 'avaliação de sustentabilidade', pode ser utilizado para se referir a processos e técnicas de avaliação, bem como aqueles que são processos ante prospectivos que visam prever os efeitos potenciais de uma atividade antes da sua implementação. Como cita Pope *et al.* (2017), uma 'avaliação de sustentabilidade' compreende em seu quadro: o contexto de planejamento, o processo e os métodos, com cada dimensão influenciando as outras.

No mais, com relação à sua utilização, ressalta-se que a MASRios respeita os objetivos expressos da Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA) instituída pela Lei Federal nº 6.938/1981 (BRASIL, 1981), em especial à compatibilização do desenvolvimento econômico e social com a preservação da qualidade do meio ambiente e do equilíbrio ecológico; os da Política Nacional de Recursos Hídricos instituídos pela Lei Federal nº 9.433/1997 (BRASIL, 1997) e, a Resolução CONAMA Nº 001/1986 (CONAMA, 1986).

#### 4.2 Estrutura e apresentação gráfica da MASRios

A MASRios tem sua estrutura organizada a partir de processos de análise faseados, integrados para auxiliar a interpretação e, a avaliação sinérgica dos possíveis impactos hidroambientais proporcionados pela aplicação de determinado projeto estrutural em um sistema fluvial de curso d'água perene de 1ª e 2ª ordem. Essas etapas são descritas e dispostas sequencialmente e integradamente em planilha eletrônica elaborada no Microsoft Excel® - versão 2016, para facilitação de seu desenvolvimento, aplicação e apresentação quantitativa e qualitativa (numérica e gráfica) dos resultados.

Desse modo, sendo base da MASRios, os Indicadores e Subindicadores de impactos hidroambientais propostos por Carvalho (2018), ressalta-se que sua aplicação está condicionada à utilização inicial da 'Tabela de referência' para coleta de dados e informações, assim como, do conhecimento da 'Relação de Impactos Hidroambientais'.

Os Subindicadores quando de ordem ambiental, estes são determinados por variáveis ambientais, as quais são elementos da natureza definidos, diante de sua significância relacional na realização de obras de intervenções em cursos d'água, os quais compõem, interferem e se inter-relacionam no espaço da bacia hidrográfica, são eles: água, solo, geomorfologia e biota. Cada um desses elementos possui particularidades, características e dinâmicas que interagem e coexistem no sistema ambiental.

Além disso, dado o importante papel desempenhado pelos diferentes agentes sociais presentes em uma bacia hidrográfica, entende-se que as ações de produção social devem ser consideradas e mensuradas no processo de AIA. Pois, conforme Ortiz & Clement-Gil (2020), são necessárias melhorias na maneira como que as Avaliações adotam os fatores sociais nas análises das consequências de diferentes tipos de projetos de desenvolvimento ou planos e programas.

Logo, foram incorporadas à MASRios, as variáveis sociais de uso e ocupação do solo e as atividades sociais existentes neste espaço geográfico conforme definição dos indicadores de impactos sociais. Sobre as variáveis econômicas, estas são determinadas a partir dos indicadores de impactos econômicos, o qual considera a possibilidade de alocação e gestão mais efetivas de recursos e por um fluxo regular do investimento público e privado nos quais a eficiência econômica deve ser avaliada.

A partir das definições estabelecidas para a metodologia, os impactos pré e pós de aplicação do projeto são qualiquantificados a partir da planilha eletrônica de 'Relação de Impactos Hidroambientais' e, características da geomorfologia fluvial da área em estudo (área da bacia, cumprimento do curso d'água e cumprimento do trecho do curso d'água objeto de intervenção), são aplicadas posteriormente em planilha eletrônica específica 'Fatores de ponderação de abrangência espacial do impacto', considerando as Equações 10 e 11, para conhecimento dos fatores de ponderação referentes à escala espacial do impacto de cada subindicador (Quadro 4).

Sendo assim, os valores identificados são aplicados automaticamente na planilha 'Matriz dos Indicadores de Impactos Hidroambientais' e, os seus respectivos resultados são inseridos para efetuar o autopreenchimento das planilhas 'Áreas e gráficos'; obtendo-se assim, os valores relativos à quantificação da relação sinérgica de

cada grupo de impacto temático a partir da área total do polígono de impacto e, a representação de seus gráficos correspondentes. Para isto, foram aplicados valores experimentais para apresentação numérica e gráfica de resultados como mostram os exemplos do Quadro 4, as Tabelas 1 a 3 e, as Figuras 1 a 3.

A aplicação dos valores dos resultados do total dos impactos hidroambientais na matriz dos indicadores apresentada, permite que a estes valores sejam atribuídos pesos relativos à sua significância. Para isto, são considerados o peso de cada subindicador e o peso do fator de ponderação (k) da significância da intervenção em análise (x), perante a área da bacia (y). Compreende-se então que os valores resultantes dessa aplicação são específicos para cada tipo de projeto e bacia hidrográfica, uma vez que, para cada caso em análise, os subindicadores e os pesos dos fatores de ponderação (k) são alterados a partir de características da bacia e do projeto em análise.

Destarte, ao se identificar a área do polígono formada por cada conjunto composto pelos indicadores temáticos e demonstrar graficamente os resultados obtidos, observa-se que os valores da relação de impacto de cada subindicador temático quando normalizados e transformados em áreas, torna a escala de análise do grupo temático uniforme e comum a todos os valores. Esta integração permite então, a possibilidade de interpretação da sinergia entres os diversos fatores envolvidos e impactos provocados pelo projeto em questão.

Portanto, diante dos pontos citados, indica-se que a MASRios pode ser utilizada para as seguintes finalidades:

- Identificar e mensurar as condições ambientais do sistema fluvial considerando os estágios de pré e pós implementação de projetos de retificação, barragem, dragagem e requalificação fluvial;
- Considerar alternativas tecnológicas e de localização de projetos, confrontando-as com a hipótese de não execução do projeto objeto de análise;
- Apontar e avaliar integradamente os impactos ambientais, sociais e econômicos gerados nas fases de instalação e operação do projeto objeto de análise;
- Avaliar o projeto proposto de forma combinada às medidas estruturais e não estruturais na bacia hidrográfica do curso d'água objeto de intervenção, de acordo com as políticas, planos e programas de viés ambiental, social e econômico;

- Possibilitar que as demandas ambientais e sociais sejam devidamente tratadas em consonância às questões econômicas na bacia hidrográfica;
- Prognosticar os possíveis impactos das ações geradas pela implantação do projeto de intervenção, e a partir disso, direcionar ações necessárias à implementação de medidas de mitigação e de compensação ambiental.

### **Considerações Finais**

A Metodologia para Avaliação de Sustentabilidade Hidroambiental para projetos de intervenções em rios perenes (MASRios), por estar embasada na abordagem da Dinâmica hierárquica de trechos e no emprego de Indicadores e subindicadores de impactos hidroambientais, deve ser aplicada apenas em casos de cursos d'água perenes de 1ª e 2ª ordem. Devido a esta abordagem, a Metodologia tem a capacidade de englobar a estrutura do sistema, bem como os elementos externos à rede de drenagem, como os subindicadores relacionados ao valor da água e à valorização de imóveis e, os elementos internos ou presentes no sistema de drenagem, como os subindicadores hidrogeomorfológicos, biodiversidade, saneamento e, uso e ocupação do solo.

Tal ferramenta possibilita a interpretação da integração e inter-relação comparativa entre as condições ambiental, social e econômica atual dos diversos fatores envolvidos, e de possíveis impactos nestas esferas que podem ser decorrentes de possível implementação de projetos de barragens, retificações, dragagens e requalificação. Desse modo, indica-se que a MASRios pode auxiliar na AIA não de forma pontual, mas proporcionando a partir de sua abrangência, a análise dos impactos hidroambientais nas escalas espaciais da bacia hidrográfica e do trecho do curso d'água, a partir do uso de dados e informações nas escalas espaciais de 1:1.000 a 1:10<sup>-1</sup>.

No tocante à ponderação dos subindicadores, os fatores de ponderação para cada tipo de indicador considerando a escala espacial de impacto da bacia hidrográfica e do trecho do curso d'água objeto de intervenção, a MASRios ao aplicar valores diferenciados específicos para cada caso em observação, define ponderações de acordo com as condições particulares de cada projeto e de seu sistema fluvial. Para isto, as equações e processos matemáticos envolvidos em sua estruturação, foram organizados e inseridos em planilhas eletrônicas para

simplificação da aplicação de dados e informações e, posterior obtenção de resultados para AIA.

Neste sentido, sua estrutura admite que os valores da condição inicial de cada sistema fluvial e de sua bacia hidrográfica sejam tomados como valores de referência, já que, a intervenção proposta no curso d'água deve promover alterações nas condições ambientais, sociais e econômicas atuais. Assim, o seu modelo de procedimento e apresentação de resultados pode oferecer ao(s) profissional(is) responsável(is) pela avaliação do projeto, a oportunidade de observar a complexidade dos fatores envolvidos no processo, e de efetuar a análise de forma comparativa, integrada, e principalmente, a interpretação de maneira multidisciplinar.

Em vista disso, pode direcionar por meio dos resultados apresentados, a orientação para a definição de exigências, aplicação de medidas de mitigação e/ou de prevenção, assim como o monitoramento de determinadas ações. Evidencia-se inclusive, que esta ferramenta pode e deve ainda receber contribuições para o seu aprimoramento e experimentação, posto que, a mesma possui variáveis, pesos e ponderações passíveis de alterações a depender da equipe técnica avaliadora e, especialmente, da área e do projeto em análise.

Por fim, devendo ser utilizada exclusivamente nos projetos que não necessitam de Estudos de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (Rima), conforme determinação da legislação ambiental brasileira vigente e entendimento de seus órgãos ambientais, julga-se que a MASRios pode ser uma ferramenta de gestão ambiental com significativa utilidade, pois além de ser de fácil compreensão, possui simples aplicação.

## Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DA ÁGUAS. Portaria nº 149, de 26 de março de 2015. Disponível em: [http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/noticias/20150406034300\\_Portaria\\_149-2015.pdf](http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/noticias/20150406034300_Portaria_149-2015.pdf). Acesso em 11 de junho de 2016.

ALLEN, T. & STARR, T. **Hierarchy**. Chicago: University of Chicago Press, 1982. 352p.

ALIZADEH, M. R.; NIKOO, M. R.; RAKHSHANDEHROO, G. R. Hydro-environmental management of groundwater resources: A fuzzybased multi-objective compromise approach. **Journal of Hydrology**, v. 551, p.540-554, 2017. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2017.06.011.

BELLEN, H. M. **Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa**. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Programa de Pós-graduação em Engenharia de produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2002. 235p.

BELLEN, H. M. V. Indicadores de sustentabilidade - um levantamento dos principais sistemas de avaliação. **Cadernos EBAPE.BR**, v. 02, n. 01, p. 01-14, 2004. 253p.

BELLEN, H. M. V. **Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa**. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2005.

BOMFIM, E. O.; GADELHA, C. L. M.; FILGUEIRA, H. J. A.; AMORIM, J. F.; AMORIM, D. S. Sustentabilidade hidroambiental de nascentes na bacia hidrográfica do rio Gramame no Estado da Paraíba, Brasil. **Revista Sociedade & Natureza**, v. 03, n. 27, set./dez., p. 453-468, 2015. DOI: 10.1590/1982-451320150307.

BOND, A.; DOCKERTY, T.; LOVETT, A. A.; RICHE, A. B.; HAUGHTON, A.; BOHAN, D. A.; SAGE, R. B.; SHIELD, I. F.; TURNER, M. M.; KARP, A. Learning How to Deal with Values, Frames and Governance in Sustainability Appraisal. **Regional Studies**, v. 45, n. 08, p. 1157-1170, 2011. DOI: 10.1080/00343404.2010.485181.

BOND, A.; FISCHER, T. B. & FOTHERGILL, J. Progressing quality control in environmental impact assessment beyond legislative compliance: An evaluation of the IEMA EIA Quality Mark certification scheme. **Environmental Impact Assessment Review**, n. 63, p. 1-12, 2016. DOI: 10.1016/j.eiar.2016.12.001.

BOND, A.; MORRISON-SAUNDERS, A. & POPE, J. Sustainability assessment: the state of the art. **Impact Assessment and Project Appraisal**, v. 30, n. 01, p. 53-62, 2012. DOI: 10.1080/14615517.2012.661974.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Constituicao/Constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm). Acesso em 09 de junho de 2016.

BRASIL. Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Política Nacional de Meio Ambiente. Disponível em [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm). Acesso em 07 de junho de 2016.

BRASIL. Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1987. Política Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm). Acesso em 25 de Maio de 2016.

BRAULIO-GONZALO, M.; BOVEA, M. D. & RUÁ, M. J. Sustainability on the urban scale: Proposal of a structure of

- indicators for the Spanish context. **Environmental Impact Assessment Review**, n. 53, p. 16-30, 2015. DOI: 10.1016/j.eiar.2015.03.002.
- CALÓRIO, M. C. **Análise da sustentabilidade em estabelecimentos agrícolas familiares no Vale do Guaporé/MT**. Dissertação (Mestrado em Agricultura Familiar). Programa de Pós-graduação em Agricultura Familiar, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá. 1997. 97p.
- CAMPOS, J. D. **Desafios do Gerenciamento dos Recursos Hídricos nas Transferências Naturais e Artificiais Envolvendo Mudança de Domínio Hídrico**. 2005. 485f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Programa de Pós-graduação em Ciências em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2005. 438p.
- CAMPOS, M. C.; RIBEIRO, M. R. & VIEIRA, Z. C. A Gestão de Recursos Hídricos Subsidiada pelo Uso de Indicadores de Sustentabilidade. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 02, abr./jun., p. 209-222, 2014. DOI: 10.21168/rbrh.v19n2.p209-222.
- CARVALHO, A. T. F. **Metodologia para avaliação de sustentabilidade hidroambiental para projetos de intervenções em rios perenes (MASRios)**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2018. 157p.
- CARVALHO, A. T. F. & CABRAL, J. J. da S. Avaliação de impacto ambiental de projetos de intervenções em cursos d'água no Brasil: análise documental e de coerência técnica de estudos ambientais. **Revista DAE**, v. 68, n. 223, p. 6-22, 2020. DOI: 10.36659/dae.2020.025.
- CARVALHO, A. T. F.; GIRÃO, O. & CABRAL, J. J. da S. P. Efeitos de revestimento de canal e impermeabilização do solo à dinâmica de inundação do rio Arrombados - PE. **Revista Geociências - UNESP**, v. 36, n. 01, p. 76-88, 2017.
- CARVALHO, J. M.; CURTI, W.; CARVALHO, E. K. M. de; CURTI, R. C. Proposta e validação de indicadores de sustentabilidade hidroambiental para bacias hidrográficas: estudo de caso na sub-bacia do rio Piranhas - PB. **Sociedade & Natureza**, v. 23, n. 2, p. 01-23, 2011.
- CASHMORE, M. The role of science in environmental impact assessment: process and procedure versus purpose in the development of theory. **Environmental Impact Assessment Review**, n. 24, p. 403-426, 2004. DOI: 10.1016/j.eiar.2003.12.002.
- CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE**. Resolução Conama nº 01, de 23 de Janeiro de 1986. Disponível: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>. Acesso em 24 de Outubro de 2016.
- CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE**. Resolução Conama nº 237, de 19 de dezembro de 1997. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html>. Acesso em 25 de Abril de 2017.
- DANIEL, O.; COUTO, L.; SILVA, E.; GARCIA, R.; JUCKSCH, I.; PASSOS, C. A. M. Alternativa a um método para determinação de um Índice de Sustentabilidade. **Revista Árvore**, v. 25, n. 04, p. 455-462, 2001.
- FRISSEL, C. A.; LISS, W. J.; WARREN, C. E.; HURLEY, M. D. Hierarchical Framework for Stream Habitat Classification: Viewing Streams in a Watershed Context. **Environmental Management**, v. 10, n. 02, p. 199-214, 1986.
- GASPARATOS, A.; EL-HARAM, M. & HORNER, M. The argument against a reductionist approach for measuring sustainable development performance and the need for methodological pluralism. **Accounting Forum**, n. 03, p. 245-256, 2009. DOI: 10.1016/j.accfor.2008.07.006.
- GASPARATOS, A. Embedded value systems in sustainability assessment tools and their implications. **Journal of Environmental Management**, n. 91, p. 1613-1622, 2010.
- LACERDA, C. S. & CÂNDIDO, G. A. (2003) **Modelos de indicadores de sustentabilidade para gestão de recursos hídricos**. In: LIRA, WS., and CÂNDIDO, GA., orgs. **Gestão sustentável dos recursos naturais: uma abordagem participativa** [online]. EDUEPB, Campina Grande: p. 13-30.
- LEE, N. Bridging the gap between theory and practice in integrated assessment. **Environmental Impact Assessment Review**, n. 26, p. 57-79, 2006. DOI: 10.1016/j.eiar.2005.01.001.
- LEUNG, W. NOBLE, B. F.; GUNN, J.; JAEGER, J. A. G. A review of uncertainty research in impact assessment. **Environmental Impact Assessment Review**, n. 50, p. 116-123, 2015. DOI: 10.1016/j.eiar.2014.09.005.
- MARÇAL, M. dos S. & LIMA, R. N. de S. Abordagens Conceituais Contemporâneas na Geomorfologia Fluvial. **Espaço Aberto - UFRJ**, v. 6, n.1, p. 17-33, 2016.
- MARTINET, V. A characterization of sustainability with indicators. **Journal of Environmental Economics and Management**, n. 61, p. 183-197, 2011.
- MASUD, M. A.; MONI, N. N.; AZADI, H.; PASSEL, S. V. Sustainability impacts of tidal river management: Towards a conceptual framework. **Ecological Indicators**, n. 85, p. 451-467, 2018. DOI: 10.1016/j.ecolind.2017.10.022.

- MOLDAN, B. & BILHARZ, S. **Sustainability indicators**: report of the project on indicators of sustainable development. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 1997.
- MORGAN, R. K. Environmental impact assessment: the state of the art. **Journal Impact Assessment and Project Appraisal**, n. 30, v.1, p.5–14, 2012. DOI: 10.1080/14615517.2012.661557.
- ORTIZ, G. & CLEMENT-GIL, E. A transdisciplinary framework for environmental impact assessment: Opportunities and resistances among practitioners in Spain. **Environmental Impact Assessment Review**, n. 81, p. 1-10, 2020. DOI: 10.1016/j.eiar.2019.106339.
- POHL, C. Transdisciplinary collaboration in environmental research. **Future**, n. 37, p. 1159–1178, 2005. DOI: 10.1016/j.futures.2005.02.009.
- POPE, J.; BOND, A.; MORRISON-SAUNDERS, A.; RETIEF, F. Advancing the theory and practice of impact assessment: Setting the research agenda. **Environmental Impact Assessment Review**, n. 41, p. 01-09, 2013. DOI: 10.1016/j.eiar.2013.01.008.
- POPE, J.; MORRISON-SAUNDERS, A.; HUNGÉ, J.; BOND, A. Reconceptualising sustainability assessment. **Environmental Impact Assessment Review**, n. 62, p. 205-215, 2017. DOI: 10.1016/j.eiar.2016.11.002.
- RABELO, L. S. & LIMA, P. S. Indicadores de Sustentabilidade: a possibilidade da mensuração do desenvolvimento sustentável. **Revista Eletrônica do Prodemá**, v. 01, n. 01, p. 55-76, 2007.
- RODRIGUES, G. S.; PIMENTA, S. C. & CASARINI, C. A. **Ferramentas de avaliação de impactos ambientais e indicadores de sustentabilidade na Embrapa**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2016. 22p.
- SALA, S.; CIUFFO, B. & NIJKAMP, P. A systemic framework for sustainability assessment. **Ecological Economics**, n. 119, p. 314-325, 2015. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2015.09.015.
- SALMAN, M. A. & BRADLOW, D. D. **Regulatory frameworks for water resources management**: a comparative study. Washington: The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank, 2006. 218p.
- SHAKIB-MANESH, T. E.; HIRVONEN, K. O.; JALAVA, K. J.; ALANDER, T. Ranking of small scale proposals for water system repair using the Rapid Impact Assessment Matrix (RIAM). **Environmental Impact Assessment Review**, n. 49, p. 49-56, 2014. DOI: 10.1016/j.eiar.2014.06.001.
- SOUZA, J. O. Dos sistemas ambientais ao sistema fluvial - uma revisão de conceitos. **Revista Caminhos de Geografia**, v. 14, n. 46, p. 224–233, 2013.
- STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed Geomorphology. **Transactions American Geophysical Union**, v. 38, n. 6, p. 913-920, 1957.
- TELES, C. D.; DUTRA, C. C.; RIBEIRO, J. L. D.; GUIMARÃES, L. B. de M. Uma proposta para avaliação da sustentabilidade socioambiental utilizando suporte analítico e gráfico. **Production**, abr., p. 01-13, 2013. 10.1590/0103-6513.0638T6.
- TORO, J.; REQUENA, I.; DUARTE, O. G.; ZAMORANO, M. A qualitative method proposal to improve environmental impact assessment. **Environmental Impact Assessment Review**, n. 43, p. 9-20, 2013. DOI: 10.1016/j.eiar.2013.04.004.
- VELEVA, V.; BAILEY, J. & JURCZYK, N. Using Sustainable Production Indicators to Measure Progress in ISO 14001, EHS System and EPA Achievement Track. **Corporate Environmental Strategy**, v. 08, n. 04, dez., p. 326-338, 2001.
- VERHEEM, R. **Recommendations for sustainability assessment in the Netherlands**: In commission for EIA. Netherlands: View From the Commission for EIA in 2002, 2002. 43p.
- VIDEIRA, N.; ANTUNES, P.; SANTOS, R. P. dos; LOPES, R. A participatory modelling approach to support integrated sustainability assessment processes. **Systems research and Behavioral Science**, n. 27, p. 446-460, 2010. DOI: 10.1002/sres.1041.
- VIEIRA, P. S. & STUDART, T. M. Proposta Metodológica para o Desenvolvimento de um Índice de Sustentabilidade Hidro-Ambiental de Áreas Serranas no Semiárido Brasileiro - Estudo de Caso: Maciço de Baturité, Ceará. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.14, n. 4, out./dez., p. 125-136, 2009. DOI: 10.21168/rbrh.v14n4.p125-136.
- VIEIRA, V. P. Recursos hídricos e o desenvolvimento sustentável do Semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 01, n. 01, jan./jun., p. 89-107, 1996. DOI: 10.21168/rbrh.v1n1.p90-107.