

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

ISABELLA CAVALCANTE DE CARVALHO

**CÁLCULO DA PEGADA HÍDRICA CINZA NO RIO LAMBARI: ESTUDO DE CASO
SOBRE SUSTENTABILIDADE NA ÁREA URBANA NO MUNICÍPIO DE POÇOS DE
CALDAS - MG**

POÇOS DE CALDAS – MG

2022

ISABELLA CAVALCANTE DE CARVALHO

**CÁLCULO DA PEGADA HÍDRICA CINZA NO RIO LAMBARI: ESTUDO DE
CASO SOBRE SUSTENTABILIDADE NA ÁREA URBANA NO MUNICÍPIO
DE POÇOS DE CALDAS - MG**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia Ambiental pelo Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de Alfenas.

Área de concentração: Recursos Hídricos e Meio Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Silveira

POÇOS DE CALDAS – MG

2022

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca Campus Poços de Caldas

de Carvalho, Isabella Cavalcante.

Cálculo da Pegada Hídrica Cinza no Rio Lambari : Estudo de caso sobre Sustentabilidade na área urbana no município de Poços de Caldas - MG / Isabella Cavalcante de Carvalho. - Poços de Caldas, MG, 2022.

50 f. : il. -

Orientador(a): Alexandre Silveira.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, MG, 2022.

Bibliografia.

1. Gestão de Recursos Hídricos. 2. Sustentabilidade da bacia hidrográfica. 3. Autodepuração do corpo d'água. I. Silveira, Alexandre, orient. II. Título.

Ficha gerada automaticamente com dados fornecidos pelo autor.

CÁLCULO DA PEGADA HÍDRICA CINZA NO RIO LAMBARI: ESTUDO DE CASO SOBRE SUSTENTABILIDADE NA ÁREA URBANA NO MUNICÍPIO DE POÇOS DE CALDAS - MG

A Banca examinadora abaixo-assinada aprova a Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental PPGCEA pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Recursos Hídricos e Meio Ambiente

Aprovada em: 30 de março de 2022.

Prof. Dr. Alexandre Silveira
Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Prof. Dr. Frederico Carlos Martins de Menezes Filho
Instituição: Universidade Federal de Viçosa

Prof. Dr. Flávio Aparecido Gonçalves
Instituição: Universidade Federal de Alfenas



Documento assinado eletronicamente por **Flávio Aparecido Gonçalves, Professor do Magistério Superior**, em 31/03/2022, às 12:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alexandre Silveira, Professor do Magistério Superior**, em 01/04/2022, às 14:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **FREDERICO CARLOS MARTINS DE MENEZES FILHO, Usuário Externo**, em 02/04/2022, às 08:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unifal-mg.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0701028** e o código CRC **8DE26A2A**.

Dedico esse trabalho, à minha avó Eulália Antoniazzi Cavalcante (in memoriam), ser humano brilhante, mulher forte e inesquecível, figura essencial na construção e evolução do meu caráter, receba essa homenagem de onde estiver, meu amor e admiração por ti serão eternos!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, minha gratidão a Deus, por direcionar meus passos por caminhos muito melhores dos quais imaginei, e me trazer até aqui. Que a fé continue sendo transformadora em minha caminhada e seja capaz de transformar tudo aquilo que seja da vontade do Pai.

À minha mãe, Maria Eulália, educadora e incentivadora de todos os meus passos, meu enorme agradecimento, pelo apoio, pela compreensão, pela confiança. Obrigada por ser meu exemplo dentro e fora de casa e fortalecer a importância do conhecimento em todas as fases da vida, você é minha inspiração!

Ao meu amor, Juliana, pelo companheirismo, pelo incentivo, pelo cuidado, por cada café nas madrugadas de estudo e construção deste trabalho. Gratidão pela companheira maravilhosa que você é, sua fortaleza me fez forte pra concluir esse ciclo, obrigada!

À minha irmã Flávia, meu cunhado Mateus e meu sobrinho Felipe, meus agradecimentos por toda confiança depositada em mim, pela paciência, e pelo apoio diário, cultivar nossos laços fez toda diferença.

Ao meu professor e orientador Alexandre Silveira, agradeço por direcionar minhas ideias, contribuindo diariamente para minha evolução nesta jornada. Gratidão pela paciência e pelas palavras leves nos momentos de leveza, e duras nos momentos necessários, o seu equilíbrio me motivou e não me deixou desistir. Obrigada por compartilhar comigo todo seu conhecimento e dedicar seu tempo para a elaboração deste trabalho.

Meus sinceros agradecimentos à UNIFAL-MG, por viabilizar meus estudos, minhas pesquisas, e promover a ciência.

Aos demais professores e colegas do Programa de Pós Graduação, aos meus amigos, colegas de trabalho, e demais incentivadores que contribuiram direta e indiretamente para a construção e conclusão deste trabalho, recebem toda minha gratidão. Sem vocês nada disso seria possível.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

*“A Natureza é o único livro que oferece um
conteúdo valioso em todas as suas folhas.”*

(Johann Goethe)

RESUMO

Neste estudo, investiga-se a pegada hídrica cinza, ou seja, aquela que se refere ao uso não consuntivo de água para assimilar ou diluir as cargas de poluentes na Bacia Hidrográfica do Ribeirão de Poços, que lança seu esgoto no Rio Lambari. Este estudo pauta-se em consolidar a Pegada Hídrica Cinza como uma ferramenta representativa de sustentabilidade do corpo hídrico, provando a eficiência da mesma como indicador ambiental. A estimativa da pegada hídrica cinza comparada com as vazões mínimas de referência e com as vazões observadas, possibilitou uma análise temporal de sustentabilidade do rio. O cálculo revelou que em vários meses do ano a situação do rio é insustentável, a pegada hídrica superou a vazão observada, e esse cenário vem se agravando, já que o corpo hídrico apresentou vazões cada vez menores, e uma pegada hídrica com crescimento contínuo. O balanço hídrico da área foi calculado, e permitiu enxergar quais os meses do ano possuem déficit hídrico, alertando para medidas de mitigação e auxiliando nas tomadas de decisão, reforçando mais ainda o quanto a implantação e eficiência da ETE 1 tem papel fundamental para reverter o cenário de déficit hídrico dos últimos 8 anos. Conclui-se que a gestão hídrica desta bacia hidrográfica não é eficiente para garantir a qualidade das suas águas. Os resultados fortalecem que a pegada hídrica é um importante indicador de sustentabilidade ambiental e deve ser usado como ferramenta na busca por melhorias na gestão dos recursos hídricos no Brasil.

Palavras – chave: Gestão de Recursos Hídricos; Sustentabilidade da Bacia Hidrográfica; Autodepuração do Corpo D'água.

ABSTRACT

In this study, the gray water footprint is investigated, that is, the one that refers to the non-consumptive use of water to assimilate or dilute the loads of pollutants in the Ribeirão de Poços Hydrographic Basin, which releases its sewage into the Lambari River. This study is based on consolidating the Gray Water Footprint as a representative tool for the sustainability of the water body, proving its efficiency as an environmental indicator. The estimation of the gray water footprint compared with the minimum flows of reference and with the flows observed, allowed a temporal analysis of the sustainability of the river. The calculation revealed that in several months of the year the river situation is unsustainable, the water footprint exceeded the observed flow, and this scenario has been worsening, since the water body presented decreasing flows, and a water footprint with continuous growth. The water balance of the area was calculated, and it allowed to see which months of the year have water deficit, alerting to mitigation measures and assisting in decision making, further reinforcing how much the implementation and efficiency of ETE 1 has a fundamental role to reverse the water deficit scenario of the last 8 years. It is concluded that the water management of this hydrographic basin is not efficient to guarantee the quality of its waters. The results reinforce that the water footprint is an important indicator of environmental sustainability and should be used as a tool in the search for improvements in the management of water resources in Brazil.

Keywords: Management of Water Resources; Sustainability of the Water Body; Self-purification of the Water Body.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização geográfica da área de estudo.....	34
Figura 2 – Pegada hídrica cinza em função do tempo.....	38
Figura 3 - Comparativo entre vazão média mensal e pegada hídrica cinza (1969 - 1976).....	39
Figura 4 - Comparativo entre vazão média mensal e pegada hídrica cinza (1984 - 1991).....	39
Figura 5 - Comparativo entre vazão média mensal e pegada hídrica cinza (2014 - 2021).....	39
Figura 6 – Análise temporal da sustentabilidade das classes.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Sustentabilidade nos períodos do ano.....	41
Tabela 2 – Balanço Hídrico por período.....	42

LISTA DE SIGLAS

ABRH	Associação Brasileira de Recursos Hídricos
ANA	Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico
BH	Balanço Hídrico
CBH	Comitê de Bacia Hidrográfica
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DMAE	Departamento Municipal de Água e Esgoto de Poços de Caldas – MG
HIDROWEB	Sistema de Informações Hidrológicas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ONG	Organização não governamental
PH	Pegada Hídrica
PHC	Pegada Hídrica Cinza
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
SNGRH	Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
UNIFAL	Universidade Federal de Alfenas

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	13
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1	RECURSOS HÍDRICOS E SUA DISPONIBILIDADE.....	14
2.2	GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS.....	16
2.3	O CONCEITO DE PEGADA HÍDRICA.....	17
2.4	TIPOS DE PEGADA HÍDRICA.....	18
2.4.1	PEGADA HÍDRICA DE UM PRODUTO.....	18
2.4.2	PEGADA HÍDRICA DE UM CONSUMIDOR OU GRUPO DE CONSUMIDORES.....	19
2.4.3	PEGADA HÍDRICA DENTRO DE UM ÁREA DELIMITADA GEOGRAFICAMENTE.....	19
2.4.4	PEGADA HÍDRICA NACIONAL.....	19
2.4.5	PEGADA HÍDRICA DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA.....	19
2.5	O CÁLCULO DA PEGADA HÍDRICA CINZA.....	20
2.6	PEGADA HÍDRICA CINZA COMO INDICADOR AMBIENTAL.....	20
2.7	PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA.....	21
2.8	AUTODEPURAÇÃO DE CORPOS HÍDRICOS.....	23
2.9	VAZÕES MÍNIMAS DE REFERÊNCIA.....	24
2.10	PROBLEMAS DE ESCASSEZ HÍDRICA.....	26
2.11	ENQUADRAMENTO DE CORPOS HÍDRICOS.....	27
3.	ARTIGO.....	29
4.	CONCLUSÃO.....	45
	REFERÊNCIAS.....	46

1 INTRODUÇÃO

A água é considerada um recurso natural renovável, devido à alta velocidade de renovação e capacidade de manutenção do seu ciclo, principalmente pelas chuvas. Porém, apesar da rápida regeneração do recurso, tem sido encontrado cada vez mais escasso, em qualidade e quantidade, no planeta. Atividades agrícolas, industriais, abastecimento urbano e animal e mineração consomem diariamente o recurso de forma significativa, e muitas vezes, esse consumo é superior à capacidade de renovação do mesmo, contribuindo para que o déficit hídrico qualitativo e/ou quantitativo seja cada vez maior.

Uma adequada gestão dos recursos hídricos é essencial para garantir o uso sustentável e responsável da água. Diante deste cenário, nas últimas décadas houve uma evolução bastante significativa no que diz respeito às políticas e legislações referentes ao tema. O gerenciamento dos recursos hídricos é um instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) e se torna cada vez mais importante na preservação da água, para garantir que o recurso possa ser aproveitado por essa e pelas futuras gerações. Devido a sua disponibilidade limitada, o uso e exploração da água gera conflitos, que são ocasionados principalmente pela inadequada gestão deste recurso, pelas assimetrias sociais e econômicas existentes entre regiões, e também pela própria distribuição natural da água por bacias hidrográficas, fazendo com que os problemas de disponibilidade estejam fortemente atrelados ao aspecto geográfico do local (BRASIL, 1981).

A demanda hídrica é naturalmente crescente ao longo dos anos, devido ao aumento populacional, ao crescimento da poluição em rios e lagos, às alterações antrópicas no ciclo hidrológico, às mudanças climáticas e à crescente atividade agrícola e industrial. A relação entre o aumento da população mundial e a demanda por água potável não é linear uma vez que nas últimas décadas a demanda de água foi igual ao dobro do crescimento populacional (UNWATER, 2015).

Diante deste cenário, faz-se necessário criar e desenvolver ferramentas que possam, além de auxiliar na gestão desses recursos, também quantificar quais as maiores demandas hídricas de cada região. Identificando as áreas com maior pegada hídrica é possível constatar os pontos críticos e vulneráveis, onde e quando ocorrem períodos do ano nos quais as condições ambientais mínimas não são atendidas em termos de padrões de qualidade e quantidade dos recursos hídricos. O conceito de pegada hídrica, vem sendo frequentemente utilizado e tem sido

um parâmetro quantitativo importante na busca por sustentabilidade e pela preservação dos recursos hídricos.

O estudo da pegada hídrica promove uma maior transparência sobre o consumo de água, evidenciando consumos “ocultos”, nos meios de produção e na cadeia de abastecimento de um produto final. Uma pegada hídrica pode ser calculada para um produto particular, para qualquer grupo bem definido de consumidores (família, vila, cidade, estado ou país) ou produtores (empresa privada ou setor econômico). A pegada hídrica é um indicador geográfico explícito, mostrando não somente os volumes de água usados e a poluição, mas também sua localização (HOEKSTRA, 2002).

O objetivo da pesquisa é investigar a pegada hídrica cinza para uma Bacia Hidrográfica urbanizada de Poços de Caldas, para analisar a sua sustentabilidade. Responder se no trecho após o lançamento de esgoto na cidade, a capacidade de assimilação do corpo hídrico tem sido suficiente para diluição do esgoto, ou se há excessivo lançamento de poluentes na região prejudicando os índices de qualidade da água. A justificativa do estudo também objetiva em consolidar a Pegada Hídrica Cinza como uma ferramenta representativa de sustentabilidade do corpo hídrico, provando a eficiência da mesma como indicador ambiental.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 RECURSOS HÍDRICOS E SUA DISPONIBILIDADE

O Brasil está dividido em 12 regiões Hidrográficas (BRASIL, 2003), aproximadamente 80% de toda produção hídrica concentra-se na região do Amazonas, São Francisco e Paraná, essa última, contempla a Bacia Hidrográfica do Rio Grande, que abastece a região de Poços de Caldas (ANA, 2013).

Em média, cerca de 260.000 m³/s de água escoam pelo território brasileiro, sendo que 80% dessa água concentra-se na região Amazônica, que é menos povoada, e por isso possui uma demanda hídrica menor. Estima-se que a disponibilidade hídrica superficial no Brasil seja em torno de 78.600 m³/s. A construção de reservatórios potencializa a disponibilidade hídrica

superficial, pois regulariza a vazão, já que armazena água nos períodos úmidos e libera parte do volume armazenado nos períodos de estiagem (ANA, 2017).

O Sudeste, região mais urbanizada, detém em torno de 6% para ser consumido entre cidades, indústrias, serviços e agropecuária, então se não houver gestão hídrica, situações de escassez e conflito serão cada vez mais comuns. Em diversas regiões brasileiras conflitos pelo uso da água estão presentes, pois a necessidade dos usuários é maior do que a oferta de água (CBH GRANDE, 2018).

As cidades são responsáveis pelo maior impacto ambiental, elas degradam a natureza e comprometem as condições de vida dos habitantes, e o crescimento da urbanização consequentemente modifica as bacias hidrográficas. Portanto, para mitigar o impacto da ação do homem no ciclo hidrológico, é essencial o planejamento da expansão urbana e o controle das atividades diretamente ligadas ao consumo dos recursos naturais (FRITZEN, 2011).

Há uma exaustão dos recursos naturais, em consequência das mudanças climáticas e do descontrole das sociedades de consumo, o cenário encontra-se em um nível avançado de desenvolvimento tecnológico e industrial, caracterizado pelo consumo excessivo de bens e serviços fazendo com que surja a necessidade das pessoas, nações e organizações internacionais, desenvolver estudos que possam integrar as questões econômicas, sociais e principalmente ambientais, focando no que tange o principal recurso finito utilizado de forma exorbitante na produção, a água.

Alguns eventos agravam o cenário tanto em relação a oferta como em relação a demanda de água doce no mundo, tais como o crescimento demográfico associado a padrões de consumo não sustentáveis. O que também agrava o cenário da utilização das águas no mundo é a gestão ineficiente dos recursos hídricos em basicamente todas as atividades antrópicas, como ocorre na agricultura, na indústria e nos sistemas de abastecimento público, onde o desperdício de água, é superior a 50% (OMM/UNESCO, 1997 apud ANEEL/ANA, 2001).

No sistema econômico, o uso total da água considera toda a água retirada do meio ambiente e das atividades econômicas para ser utilizada pelos setores produtivos e pela população. Já o consumo total de água constitui a parcela da água retirada para uso que não retorna ao ambiente, pois, durante o uso, foi incorporada nos produtos e consumida pelas pessoas ou animais (ANA, 2018).

A revelação da ligação oculta entre o consumo e a disponibilidade da água pode formar a base para a formulação de novas estratégias de gestão de recursos hídricos, já que novos

desencadeadores de mudança podem ser identificados. O aperfeiçoamento desta visão pode constituir a base para um melhor gerenciamento das águas do planeta.

2.2 GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

A Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH) foi instituída em 1997 e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, a legislação estabelece 5 instrumentos de gestão:

- Planos de Recursos Hídricos;
- Outorga de Direito de Uso;
- Cobrança pelo Uso;
- Enquadramento dos corpos hídricos; e
- Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

O SNIRH é uma rede de banco de dados e informações, alimentado pelas entidades públicas, federais, estaduais e municipais, esse portal é de livre acesso para os usuários. Tem como objetivo a divulgação de dados e informações sobre a situação quantitativa e qualitativa dos recursos hídricos no Brasil e o fornecimento de subsídios para a elaboração dos Planos de Recursos Hídricos (ABRH,1997).

O monitoramento qualitativo da água é um dos principais instrumentos de sustentação de uma política de gestão de recursos hídricos, sendo a chave para a compreensão e gerenciamento de recursos complexos, como também para relatar melhorias e condições atuais dos corpos d'água (PENEV *et al.*, 2014; PIÑEIRO DI BLASI *et al.*, 2013).

A Política Nacional de Recursos Hídricos trouxe mudanças quanto à gestão de um bem público (a água, no caso). Dentre as mudanças, destaca-se a descentralização da gestão, que deixa de estar ligada exclusivamente ao poder público e passa à responsabilidade mista, compartilhada entre representantes de instituições privadas na nova jurisdição política, constituída pelos comitês de bacias hidrográficas (FIOREZE; OLIVEIRA, 2010; FRANTZ, 2009; SILVEIRA *et al.*, 1998; VEIGA; BECHARA; MAGRINI, 2013).

Os Comitês de Bacia Hidrográfica que em consonância com as instituições representativas do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SNGRH) fazem o regulamento efetivo, democrático e participativo dos recursos hídricos na área de atuação, em cada bacia hidrográfica ou em grupos de bacias (SERRER; SCHERER, 2016).

Em Poços de Caldas, a Lei Orgânica Municipal (POÇOS DE CALDAS, 1990) contempla na seção X à gestão dos recursos naturais, sendo que a subseção I, do artigo 179 ao 181, é voltada apenas aos recursos hídricos explanando que, para haver conservação da água, é fundamental a existência de áreas de preservação e proteção das matas ciliares dos locais de abastecimento para a população. A Lei 2647 de 1978 do município ressalta sobre a importância do uso do solo para conservação dos mananciais. Desde então, algumas iniciativas foram criadas a fim de preservar as áreas ao redor dos mananciais, prevendo a conservação, como publicado no Plano Diretor de Abastecimento de Água do Município de Poços de Caldas. A gestão hídrica do município é realizada pelo Departamento Municipal de Água e Esgoto de Poços de Caldas (DMAE, 2017), autarquia fundada em 1965 para administrar os recursos hídricos, cuja água é captada em afluentes do Rio Pardo: Reservatório Saturnino de Brito, Mananciais Marçal dos Santos, Cachoeirinha/Ribeirão da Serra e Reservatório do Cipó.

A gestão dos recursos hídricos visa manter o equilíbrio do regime hidrológico e da qualidade das águas, contribuindo para sua longevidade. O uso múltiplo destes recursos, além de acordos que visam promover o uso racional da água, contribuem na busca por soluções de conflitos a curto, médio e longo prazo.

2.3 O CONCEITO DE PEGADA HÍDRICA

A pegada hídrica é um indicador multidimensional do uso da água associado ao seu uso direto e indireto. É definida como o volume total de água usada para produzir os bens e serviços consumidos por um indivíduo ou comunidade ou produzido pelas empresas. O uso da água é medido em termos dos volumes de água consumidos (evaporado ou incorporado no produto) e/ou poluído por unidade de tempo. Todas as componentes de uma pegada hídrica total são especificadas geográfica e temporalmente (HOEKSTRA, 2002).

Ao conhecer o conteúdo de água dos produtos, aumenta-se a conscientização do volume de água necessário para a produção de diversos bens, conseqüentemente, reforçando a ideia de quais bens impactam mais o sistema hídrico e onde seria possível promover uma economia de água.

Em 2008, HOEKSTRA, juntamente à sociedade civil holandesa, organizações multilaterais e da academia, fundaram o *Water Footprint Network* (Rede da Pegada Hídrica).

Com o objetivo de demonstrar como a Avaliação da Pegada Hídrica pode ajudar a superar os desafios relacionados ao uso insustentável da água, esta rede reúne organizações que estão preocupadas com a crescente escassez hídrica e aumento no nível de poluição e seus impactos nas pessoas e na natureza (WFN, 2008).

A pegada hídrica pode ser dividida em 3 componentes, expressos em unidades volumétricas de água e de acordo com suas fontes:

- Pegada Hídrica Azul;
- Pegada Hídrica Verde;
- Pegada Hídrica Cinza.

A pegada hídrica azul é representada pelo uso consuntivo (indica que a água extraída não retorna ao sistema e assim fica indisponível para o uso na mesma região onde foi retirada) da água doce superficial e subterrânea. Portanto, a pegada hídrica azul de um processo inclui a água evaporada, incorporada em produtos, devolvida para outra bacia hidrográfica, e a água retornada em outro período. A pegada hídrica verde refere-se ao consumo de água verde (água proveniente da chuva que fica incorporada no solo ou temporariamente no topo das folhas da vegetação), e, portanto, não gera escoamento superficial, e também não recarrega os aquíferos subterrâneos. É capaz de ser definida por estimativas de evapotranspiração. Por fim, a pegada hídrica cinza, foco deste trabalho, refere-se ao uso não consuntivo de água para assimilar ou diluir as cargas de poluentes que atingem um corpo hídrico, oriundos de poluição difusa ou pontual, de modo a atingir os padrões pré-estabelecidos de qualidade da água. Funciona como um indicador de grau de poluição (HOEKSTRA, 2011).

2.4 OS TIPOS DE PEGADA HÍDRICA

2.4.1 Pegada Hídrica de um Produto

A pegada hídrica de um produto se dá pelo volume total de água doce que é utilizado direta ou indiretamente em seu processo produtivo. Sua estimativa é feita com base no consumo e na poluição da água em todas as etapas da cadeia produtiva. O cálculo é semelhante para todos os tipos de produtos, sejam eles derivados dos setores agrícola, industrial ou de serviços. A pegada hídrica de um produto também é subdividida nas componentes verde, azul e cinza.

2.4.2 Pegada Hídrica de um Consumidor ou Grupo de Consumidores

A pegada hídrica de um consumidor é definida pelo volume total de água doce consumida e poluída na produção de bens e serviços por ele utilizados. A pegada hídrica de um grupo de consumidores é igual à soma das pegadas hídricas individuais de cada consumidor.

2.4.3 Pegada Hídrica dentro de uma Área delimitada Geograficamente

A pegada hídrica dentro de uma área geográfica é definida como sendo o consumo total de água doce e de poluição dentro dos limites espaciais da área. É crucial definir claramente os limites da área considerada. A área pode ser uma área de drenagem, uma bacia hidrográfica, um estado, um país ou qualquer outra unidade espacial administrativa ou hidrológica.

2.4.4 Pegada Hídrica Nacional

Os resultados totais da pegada hídrica nacional são obtidos através da combinação dos resultados referentes à ‘pegada hídrica do consumo nacional’ com os resultados da ‘pegada hídrica dentro de um país’ em um esquema abrangente. Os cálculos tradicionais relativos ao consumo da água em território nacional se referem apenas à captação de água dentro de um país. Eles não distinguem o uso da água na elaboração de produtos para consumo doméstico daquele necessário para produzir produtos de exportação. Eles também excluem dados sobre o uso da água fora do país que permitem o consumo nacional. Além disso, eles consideram somente o uso da água azul, excluindo as águas verde e cinza.

2.4.5 Pegada Hídrica de uma Bacia Hidrográfica

O cálculo da pegada hídrica em bacias combina o resultado da pegada hídrica de consumidores que vivem dentro da área da bacia, e o resultado da pegada hídrica da área da bacia.

2.5 O CÁLCULO DA PEGADA HÍDRICA CINZA

No cálculo dessa pegada considera-se a carga de poluente medida no tempo, a concentração permitida pela legislação e a concentração natural do curso d'água, que seria encontrada caso não houvesse ocupação humana, conforme se vê na equação (1):

$$PH_{cinza} = \frac{L}{C_{máximo} - C_{natural}} \quad (1)$$

PH_{cinza} : Pegada Hídrica Cinza [L/dia];

L : Carga de Poluente [Kg/dia];

$C_{máximo}$: Concentração máxima aceitável do poluente [Kg/L];

$C_{natural}$: Concentração natural do poluente no corpo d'água [Kg/L].

Ressalta-se ainda, que altos valores de pegada hídrica cinza não significam, necessariamente, que os padrões estabelecidos foram ultrapassados, mas que parte da capacidade de assimilação já foi consumida. A assimilação da carga de poluentes que chega até o corpo receptor é feita pela água azul, disponível nos rios, portanto há uma relação direta entre a quantidade de água poluída e a quantidade necessária para diluir essa poluição, possibilitando uma análise da sustentabilidade dessa pegada hídrica.

A autodepuração de um rio é a capacidade do mesmo de recuperar o equilíbrio através de mecanismos naturais, depois de receber carga poluidora proveniente de esgoto doméstico ou industrial. Porém, a autodepuração não necessariamente retorna as águas as suas condições naturais antes do lançamento, apenas é capaz de voltar ao equilíbrio ecossistêmico com características distintas, sem que apresente problemas ambientais.

2.6 PEGADA HÍDRICA COMO INDICADOR AMBIENTAL

Através da Pegada hídrica é possível obter informações espaciais e temporais específicas sobre o uso da água, criando uma base para avaliação dos impactos ambientais, sociais e econômicos, além de servir para quantificar e localizar a pegada hídrica de um

processo, produto, produtor ou consumidor, e avaliar a sustentabilidade ambiental para formular mecanismos de resposta (CORDEIRO, 2014).

Tomando uma perspectiva geográfica, olhando para a pegada hídrica total dentro de uma área delimitada, como no caso da bacia hidrográfica, nota-se que pegada hídrica total é quantificada a partir da agregação das pegadas hídricas de muitos processos distintos que ocorrem na área. Portanto, a tomada de decisão deste processo é importantíssima, e consiste em quatro etapas bem definidas:

- Definição de objetivos e escopo;
- Contabilização da pegada hídrica;
- Avaliação da sustentabilidade da pegada hídrica;
- Formulação de respostas à pegada hídrica.

Em 2014, para oferecer uma estrutura harmonizada para quantificação e reporte de Pegadas Hídricas pelas empresas foi desenvolvida ISO 14046/2014. Esta norma, sugere princípios, requisitos e orientações para realizar a Avaliação de Pegada Hídrica como uma avaliação independente ou como parte de uma avaliação ambiental mais abrangente. Sendo possível fornecer informações confiáveis e consistentes para interpretar os resultados da Pegada Hídrica e, portanto, encontrar meios de estimar o potencial impacto do consumo e poluição das águas e informar tomadores de decisão nas indústrias, governos e ONGs (CARVALHO; BERENGUER, 2016).

Por fim, a PH pode contribuir para conscientizar os consumidores da responsabilidade que também possuem sobre a qualidade e quantidade de água consumida ou utilizada pelos seus hábitos de consumo.

2.7 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA

A poluição das águas tem como origem diversas fontes, destacando-se: efluentes domésticos, efluentes industriais, e carga difusa urbana e agrícola. Essas fontes estão associadas ao tipo de uso e ocupação do solo. Cada uma dessas fontes possui características próprias quanto aos poluentes que carregam (por exemplo, os esgotos domésticos apresentam compostos orgânicos biodegradáveis, nutrientes e bactérias). São inúmeros os parâmetros considerados a fim de classificar a qualidade da água.

Esses parâmetros da água revelam suas características físicas (temperatura, sabor, odor, cor, turbidez, sólidos e condutividade elétrica), químicas (pH, alcalinidade, dureza, cloretos, ferro e manganês, nitrogênio, fósforo, fluoretos, oxigênio dissolvido, DBO, DQO, componentes orgânicos e inorgânicos) e biológicos (coliformes e algas) (CETESB, 2017).

No ciclo hidrológico, a água flui pelos corpos hídricos da bacia hidrográfica, tornando-se disponível ao homem e adquirindo as características que definem sua qualidade. O estado de conservação dos mananciais e dos ecossistemas em seu entorno são determinantes para a qualidade da água (ANA, 2010).

Nos ambientes urbanos, a concentração de fósforo na água indica principalmente a poluição por efluentes domésticos e industriais. Já em ambientes rurais, as concentrações de fósforo estão geralmente associadas à entrada de sedimentos e nutrientes atrelados ao manejo inadequado do solo e fertilizantes. Neste caso, as concentrações de fósforo costumam aumentar após às chuvas devido ao carreamento de materiais para os corpos hídricos. O fósforo tende a se acumular e causar problemas em corpos hídricos. O crescimento de plantas e algas é normalmente limitado pelas concentrações de fósforo em condições naturais, e o aporte excessivo deste nutriente pode ocasionar o crescimento excessivo da flora aquática e o desequilíbrio dos ecossistemas, fenômeno da eutrofização. Ainda que sejam tratados, os níveis de redução de fósforo das estações de tratamento de esgotos são geralmente baixos no país (ANA, 2010).

Nas águas naturais a DBO representa a demanda potencial de oxigênio dissolvido que poderá ocorrer devido à estabilização dos compostos orgânicos biodegradáveis, o que poderá trazer os níveis de oxigênio nas águas abaixo dos exigidos pelos peixes, levando-os à morte. É, portanto, importante padrão de classificação das águas naturais. Nas classes que correspondem às águas menos poluídas, exigem-se baixos valores máximos de DBO e elevados limites mínimos de oxigênio dissolvido.

Os compostos orgânicos que são oxidados na natureza são constituídos principalmente de carbono, hidrogênio e oxigênio, além de nitrogênio, fósforo, enxofre. A principal fonte de substâncias orgânicas encontradas nos rios e mares é o esgoto, no qual encontramos carboidratos, proteínas e óleos (DIAS, 2018). A decomposição biológica gera a Demanda Bioquímica de Oxigênio, e isso tem uma função fundamental no meio ambiente, pois a degradação da matéria orgânica devolve à natureza seus elementos e substâncias. Entretanto,

como a grande maioria das cidades lança seu esgoto em rios, é importante haver um equilíbrio na DBO desses efluentes, que pode ser conseguido da seguinte forma:

- Deve-se preocupar com a relação entre a vazão de água e a quantidade de esgoto lançada;
- Deve-se intensificar a aeração, isto é, a quantidade de oxigênio dissolvido na água.

Assim, de uma forma geral, a demanda bioquímica de oxigênio atua como um indicador de poluição das águas. Quanto maior a quantidade de efluentes lançados em um curso de água, maior será a quantidade de matéria orgânica, o que favorecerá um grande consumo de gás oxigênio (O_2) por parte dos microrganismos, elevando a DBO e prejudicando os seres vivos aeróbios. Isso porque, ao elevar a DBO, os seres vivos anaeróbios passam a realizar a reação de oxidação dos compostos orgânicos, o que leva à produção de substâncias de odor desagradável, como o ácido sulfídrico (H_2S) (DIAS, 2018).

2.8 AUTODEPURAÇÃO DE CORPOS HÍDRICOS

O processo de autodepuração de um rio consiste no reestabelecimento do equilíbrio do meio aquático através de mecanismos essencialmente naturais após o lançamento de cargas poluidoras, ocorrendo conseqüentemente, uma sequência de substituições de uma comunidade estável para que entre em equilíbrio com as condições locais (VON SPERLING, 1996). É decorrente do somatório de vários processos de natureza física (diluição, sedimentação, e reaeração atmosférica), química e biológica (oxidação e decomposição) (VON SPERLING, 2008).

Ao longo do tempo e considerando o perfil longitudinal dos corpos hídricos, há estágios de sucessões ecológicas associadas a zonas fisicamente identificáveis nos rios, identificadas como zonas de autodepuração, sendo:

- **Zonas de águas limpas:** Região com elevada disponibilidade (concentração) de oxigênio dissolvido local com ocorrência de
- **Zonas de degradação:** Localizada à jusante do ponto de lançamento da carga poluidora, é caracterizada por uma diminuição inicial das concentrações de oxigênio dissolvido, pela sedimentação de material sólido, pela elevada presença

de bactérias e fungos, e pela pouca ocorrência de algas. Há peixes que buscam por alimentos nessa região.

- **Zona de decomposição ativa:** Região na qual as concentrações de oxigênio dissolvido são mínimas, inviabilizando a presença de organismos aeróbios e diminuindo a ocorrências de bactérias e fungos. Os ecossistemas tentam se organizar após a perturbação, é o local onde a água apresenta a pior qualidade.
- **Zona de recuperação:** Início da recuperação qualitativa das águas, a concentração de oxigênio dissolvido aumenta, a ocorrência de bactérias e fungos diminui enquanto a quantidade de peixes e organismos aeróbios aumenta significativamente. Há uma tendência para a proliferação de algas nessa região devido à disponibilidade de nutrientes resultante da decomposição da matéria orgânica. As águas passam a ter uma aparência mais clara.

Por fim, após a zona de recuperação o corpo hídrico volta para a condição de zona de água limpa, recuperando suas concentrações de oxigênio dissolvido, e permitindo o equilíbrio e a presença dos organismos aeróbios (BRAGA, 2005).

A capacidade suporte de um corpo hídrico é o valor máximo de determinado poluente que ele pode receber sem comprometer a qualidade de suas águas e dos ecossistemas presentes na mesma, por isso, é de suma importância conhecer qual o limite de autodepuração do corpo hídrico, para garantir que ele se enquadre na sua devida classe (Resolução CONAMA n°357/05) e seja naturalmente sustentável.

2.9 VAZÕES MÍNIMAS DE REFERÊNCIA

O balanço adequado entre a utilização da água e a manutenção de suas estruturas naturais permite o uso continuado da água no presente e no futuro e que para possibilitar a continuidade das funções oferecidas pelo recurso, é mais que necessária a manutenção de uma vazão mínima que suporte o ecossistema aquático, a vazão mínima também é chamada de vazão residual, ecológica ou ambiental (LANNA, 2000).

Utilizando-se das séries históricas de vazão da região, é estimada a probabilidade de que uma determinada vazão seja igualada ou superada em um período qualquer. O tempo de retorno é o inverso dessa probabilidade (TUCCI, 2002).

As vazões referenciais são aquelas que correspondem a uma situação crítica e de estiagem, podendo ser:

- $Q_{7,10}$ (Vazão mínima de 7 dias consecutivos para um período de retorno de 10 anos);
- $Q_{90\%}$ (Vazão média com 90% do tempo da curva de permanência de vazões diárias ou mensais);
- $Q_{95\%}$ (Vazão média com 95% do tempo da curva de permanência de vazões diárias ou mensais);

A curva de permanência representa a relação entre a magnitude e a frequência de vazões diárias, mensais ou anuais de uma determinada bacia hidrográfica, fornecendo a porcentagem de tempo que a dada vazão é igualada ou superada dentro de um período histórico. Da curva de permanência são obtidas as vazões mencionadas, muito utilizadas como vazões mínimas de referência para Outorga de uso da água por exemplo (VOGEL; FENNESSEY, 1994).

O Glossário Internacional de Hidrologia define vazão mínima como sendo a vazão de água de um rio durante prolongado tempo de seca. A seca hidrológica pode ocorrer ao longo de um ano ou por vários anos consecutivos. Os indicadores com valores de vazões mínimas mais utilizados nos estudos hidrológicos são a $Q_{7,10}$ e $Q_{95\%}$. A vazão mínima com 7 dias de duração e período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$) é normalmente utilizada em estudos relacionados à qualidade da água em rios (UNESCO, 2007).

O conhecimento da vazão mínima e de sua distribuição temporal e espacial assume papel essencial na gestão dos recursos hídricos, principalmente o que tange qualidade da água, estudos de autodepuração e diluição de efluentes em corpos d'água (TUCCI, 2002).

Os ganhos e perdas naturais da vazão são completamente alterados pela ação antrópica, seja pela captação de água subterrânea, drenagem artificial, desflorestamento, entre outros fatores que influenciam a disponibilidade de água.

A vazão mínima pode ser utilizada ainda para a gestão dos recursos hídricos da bacia hidrográfica, avaliação do atendimento aos padrões ambientais do corpo receptor, alocação de cargas poluidoras. A determinação das eficiências solicitadas para os tratamentos de esgotos em seus lançamentos deve ser determinada em condições críticas, isso por que essas condições

críticas no corpo receptor refletem período de estiagem, ocorrendo exatamente no período de vazão mínima, onde existe uma menor capacidade de diluição do rio (SPERLING, 2014).

2.10 PROBLEMAS DE ESCASSEZ HÍDRICA

A escassez hídrica evidencia dois principais problemas: a ineficiência na gestão dos recursos hídricos por parte dos órgãos governamentais, e o desinteresse da população. O crescimento dos grandes centros urbanos, é responsável pela canalização dos rios e impermeabilização massiva dos terrenos, intensificando ainda mais o quadro de escassez, situação que é agravada devido a baixa eficiência dos sistemas hídricos e poucas práticas de reaproveitamento de água (SOUZA *et al.*, 2012).

Algumas bacias já estão com a disponibilidade hídrica preocupante, em consequência da natural escassez da água, ou por apresentarem elevada concentração populacional e intensa utilização do recurso hídrico. Existe indefinição sobre as adequadas práticas de gestão nestas bacias, seja quanto à postura frente a novas medidas de gestão, seja quanto aos critérios de racionamento a serem aplicados, limitando-se a legislação a enumerar os usos prioritários.

O ano de 2014 destacou-se por uma estiagem severa na região Sudeste, as vazões diminuíram em diversos rios dos estados de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro. Este fato, juntamente com fragilidades da gestão hídrica, levou estes estados a enfrentar uma crise hídrica sem precedentes, que contribuiu fortemente para a redução da oferta de água na região (ANA,2017).

No rio São Francisco, as vazões anuais permanecem abaixo da média histórica desde meados dos anos 1990. Com a redução das chuvas na bacia, os níveis dos reservatórios estão diminuindo ano a ano e, portanto, vários anos úmidos serão necessários para recuperar o volume de água desses reservatórios. No histórico de dados do rio São Francisco, nunca foram registradas vazões médias anuais tão pequenas como as observadas nos últimos anos (61% da média em 2016) (ANA,2017).

Observando-se dados dos portais federais, é possível evidenciar essa crise hídrica ocorrida no ano de 2014 devido à escassez de chuvas que afetaram o abastecimento nos meses de agosto e novembro, na região de Poços de Caldas - MG.

Devido ao cenário de escassez já consolidado, a preservação dos recursos hídricos está em discussão nos Objetivos do Milênio para o Desenvolvimento Sustentável – ODS para o ano

de 2030, no qual dispõe de dezessete objetivos entre eles dois possuem ligação direta com o uso da água (SILVA, 2018). Um dos objetivos tem como proposta garantir o acesso à água potável e saneamento básico no qual visa “assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos” que dentre suas metas, esta busca alcançar o acesso universal e equitativo à água potável, segura e acessível para todos e o melhoramento da qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando despejo e minimizando a liberação de produtos químicos e materiais perigosos.

Diante da problemática da escassez de água doce, faz-se necessária uma gestão eficaz dos recursos hídricos de forma que o acesso a esses recursos seja igualitário e sem comprometer a qualidade ambiental. Sendo assim, o conceito da pegada hídrica apresenta como importância a otimização dos recursos hídricos, permitindo contornar os efeitos da escassez de água, baseando-se no esforço de demonstrar como tais recursos estão sendo manejados e quais as relações existentes, o consumo direto e indireto da água pelo homem.

A pegada hídrica como ferramenta de planejamento, possibilita uma assertiva gestão dos recursos hídricos pois é capaz de identificar os locais e os volumes de escassez, e propor medidas para redirecionar o consumo para outras regiões, onde a disponibilidade de água é maior, evitando a exploração de locais com demanda hídrica crítica (GIACOMIN; JR, 2012; MAIA *et al.*, 2012).

2.11 ENQUADRAMENTO DE CORPOS HÍDRICOS

A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433 (1997), traz dentre seus instrumentos de gestão o enquadramento dos corpos hídricos em classes, esse instrumento é responsável por debater e gerenciar questões relacionadas à qualidade das águas nos corpos d'água. O enquadramento é o estabelecimento da meta de qualidade da água a ser, obrigatoriamente, alcançado ou mantido de acordo com os usos preponderantes pretendidos ao longo do tempo (BRASIL, 2005).

São estabelecidas classes para grupo de usos de água que incluem a preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas, abastecimento doméstico com ou sem tratamento, recreação, pesca amadora, dessedentação de animais, navegação, entre outros. Cada classe passa a ter de respeitar condições e parâmetros específicos e pré-estabelecidos que devem ser monitorados pelo órgão competente, a fim de mantê-los dentro dos padrões exigidos. Dessa

forma, define-se poluição como: lançamento de matéria ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos. Portanto, passa a ser poluição o lançamento de efluentes que confirmam ao corpo receptor características em desacordo com o enquadramento feito com base nas suas diretrizes de classes, capazes de causarem efeitos letais ou alteração de comportamento, reprodução ou fisiologia aos ecossistemas aquáticos. Há também na legislação, para controle da poluição, condições mínimas para o lançamento de efluentes nos corpos hídricos.

É necessário enquadrar os corpos hídricos para garantir a qualidade das águas e desta forma controlar de maneira mais eficaz a poluição, permitindo inclusive que os corpos d'água com condições em desacordo com as classes possam ser recuperados. Além disso, os corpos d'água já enquadrados passam a ter que se adequar à Resolução, sendo considerados classes 2 todos os corpos d'água ainda não enquadrados (CONAMA,2005).

A classificação das águas doces está dividida em:

- **Classe especial - Águas destinadas:**
 - a) ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção;
 - b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e,
 - c) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.
- **Classe 1 - Águas que podem ser destinadas:**
 - a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
 - b) à proteção das comunidades aquáticas;
 - c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA n° 274, de 2000;
 - d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e
 - e) à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.
- **Classe 2 - Águas que podem ser destinadas:**
 - a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;

- b) à proteção das comunidades aquáticas;
 - c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA n° 274, de 2000;
 - d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e
 - e) à aquicultura e à atividade de pesca.
- **Classe 3** - Águas que podem ser destinadas:
 - a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;
 - b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
 - c) à pesca amadora;
 - d) à recreação de contato secundário; e
 - e) à dessedentação de animais.
 - **Classe 4** - Águas que podem ser destinadas:
 - a) à navegação; e
 - b) à harmonia paisagística.

3 ARTIGO

O artigo intitulado “Cálculo da Pegada Hídrica Cinza no Rio Lambari: estudo de caso sobre sustentabilidade na área urbana no município de Poços de Caldas - MG” foi submetido em 15 de fevereiro de 2022, sob ID ESA-2022-0035, à revista Engenharia Sanitária e Ambiental, classificada como B1 na área de Engenharias I da CAPES, tendo como autores Isabella Cavalcante de Carvalho e Alexandre Silveira.

**CÁLCULO DA PEGADA HÍDRICA CINZA NO RIO
LAMBARI: ESTUDO DE CASO SOBRE SUSTENTABILIDADE
NA ÁREA URBANA NO MUNICÍPIO DE POÇOS DE CALDAS
– MG**

**CALCULATION OF THE GRAY WATER FOOTPRINT IN
THE LAMBARI RIVER: A CASE STUDY ON
SUSTAINABILITY IN THE URBAN AREA IN THE
MUNICIPALITY OF POÇOS DE CALDAS - MG**

Isabella Cavalcante de Carvalho¹ & Alexandre Silveira²

Versão Preliminar

RESUMO

Neste estudo, investiga-se a pegada hídrica cinza, ou seja, aquela que se refere ao uso não consuntivo de água para assimilar ou diluir as cargas de poluentes em uma Bacia Hidrográfica, no caso a do Ribeirão de Poços, que lança todo seu esgoto no Rio Lambari. A justificativa do estudo foca em consolidar a Pegada Hídrica Cinza como uma ferramenta representativa de sustentabilidade do corpo hídrico, provando a eficiência da mesma como indicador ambiental. A estimativa da pegada hídrica cinza comparada com as vazões mínimas de referência e com as vazões observadas, possibilita uma análise temporal de sustentabilidade do rio. O cálculo revela que em vários meses do ano o rio se comporta de maneira insustentável, a pegada hídrica supera a vazão observada, e essa situação vem se agravando, já que o corpo hídrico apresenta vazões cada vez menores, e uma pegada hídrica com crescimento contínuo. O balanço hídrico da área é calculado, e permite enxergar quais os ciclos do ano possuem déficit hídrico, alertando para medidas de mitigação e auxiliando nas tomadas de decisão, reforçando mais ainda o quanto a implantação e eficiência da ETE 1 tem papel fundamental para reverter o cenário de déficit hídrico dos últimos 8 anos. Conclui-se que a gestão hídrica desta bacia não é eficiente para garantir a qualidade das águas. Os resultados fortalecem que a pegada hídrica é um importante indicador de

sustentabilidade ambiental e deve ser usado como ferramenta na busca por melhorias na gestão dos recursos hídricos no Brasil.

Palavras-Chave – Gestão de Recursos Hídricos, Sustentabilidade do corpo hídrico, autodepuração do corpo d'água.

ABSTRACT

In this study, the gray water footprint is investigated, that is, the one that refers to the non-consumptive use of water to assimilate or dilute the loads of pollutants in a Hydrographic Basin, in the case of Ribeirão de Poços, which releases all its sewage into the River Lambari. The justification of the study focuses on consolidating the Gray Water Footprint as a representative tool of sustainability of the water body, proving its efficiency as an environmental indicator. The estimation of the gray water footprint compared with the minimum flows of reference and with the flows observed, allows a temporal analysis of the sustainability of the river. The calculation reveals that in several months of the year the river behaves in an unsustainable way, the water footprint exceeds the observed flow, and this situation is getting worse, since the water body presents smaller and smaller flows, and a water footprint with continuous growth. . The water balance of the area is calculated, and allows to see which cycles of the year have water deficit, alerting to mitigation measures and assisting in decision making, further reinforcing how much the implementation and efficiency of ETE 1 plays a fundamental role in reversing the water deficit scenario of the last 8 years. It is concluded that the water management of this basin is not efficient to guarantee the quality of the waters. The results reinforce that the water footprint is an important indicator of environmental sustainability and should be used as a tool in the search for improvements in the management of water resources in Brazil.

Keywords: Management of Water Resources, Sustainability of the water body, self-purification of the water body.

INTRODUÇÃO

A água é considerada um recurso natural renovável, devido à alta velocidade de renovação e capacidade de manutenção do seu ciclo, principalmente pelas chuvas. Porém, apesar da rápida regeneração do recurso, tem sido encontrado cada vez mais escasso, em qualidade e quantidade. O consumo diário do recurso muitas vezes é superior à capacidade de renovação do mesmo, contribuindo para um déficit hídrico cada vez maior.

Uma boa gestão dos recursos hídricos é essencial para garantir o uso sustentável e responsável da água, diante deste cenário, nas últimas décadas houve uma evolução bastante significativa no que diz respeito às políticas e legislações. O gerenciamento dos recursos hídricos é instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) e se torna cada vez mais importante na preservação da água, para garantir que o recurso possa ser aproveitado por essa e pelas futuras gerações.

A demanda hídrica é naturalmente crescente ao longo dos anos, devido ao aumento populacional, ao crescimento da poluição em rios e lagos, às alterações antrópicas no ciclo

hidrológico, às mudanças climáticas e à crescente atividade agrícola e industrial. A relação entre o aumento da população mundial e a demanda por água potável não é linear uma vez que nas últimas décadas a demanda de água foi igual ao dobro do crescimento populacional (UNWATER, 2015).

Atualmente, faz-se necessário a criação de ferramentas que possam além de auxiliar na gestão desses recursos, também quantificar quais as maiores demandas hídricas de cada região, para que dessa forma as ações sejam direcionadas aos pontos críticos e vulneráveis, onde e quando ocorrem períodos do ano nos quais as condições ambientais mínimas não são atendidas em termos de padrões de qualidade e quantidade dos recursos hídricos.

O conceito de pegada hídrica, vem sendo frequentemente utilizado nos estudos mais recentes e tem sido um parâmetro quantitativo importante na busca pela sustentabilidade e pela preservação dos recursos hídricos. A pegada é definida como o volume total de água usada para produzir os bens e serviços consumidos por um indivíduo ou comunidade ou produzido pelas empresas. O uso da água é medido em termos dos volumes de água consumidos (evaporado ou incorporado no produto) e/ou poluído por unidade de tempo. Todas as componentes de uma pegada hídrica total são especificadas geográfica e temporalmente. (HOEKSTRA, 2002).

A pegada hídrica pode ser dividida em 3 componentes, expressos em unidades volumétricas de água e de acordo com suas fontes: Pegada Hídrica Azul, Pegada Hídrica Verde e Pegada Hídrica Cinza. A pegada hídrica azul é representada pelo uso consuntivo (indica que a água extraída não retorna ao sistema e assim fica indisponível para o uso na mesma região onde foi retirada) da água doce superficial e subterrânea. Portanto a pegada hídrica azul de um processo inclui a água evaporada, incorporada em produtos, devolvida para outra bacia hidrográfica, e a água retornada em outro período. A pegada hídrica verde refere-se ao consumo de água verde (água proveniente da chuva que fica estocada no solo ou temporariamente no topo das folhas da vegetação), portanto não gera escoamento superficial, nem recarrega os aquíferos subterrâneos. É capaz de ser definida por meio de estimativas de evapotranspiração. Por fim, a pegada hídrica cinza, foco deste trabalho, refere-se ao uso não consuntivo de água para assimilar ou diluir as cargas de poluentes que atingem um corpo hídrico, oriundos de poluição difusa ou pontual, de modo a atingir os padrões pré-estabelecidos de qualidade da água. Funciona como um indicador de grau de poluição (HOEKSTRA, 2011).

Para a análise da sustentabilidade da pegada hídrica também é importante entender o processo de autodepuração de um rio, que consiste no restabelecimento do equilíbrio do meio aquático através de mecanismos essencialmente naturais após o lançamento de cargas poluidoras, ocorrendo conseqüentemente, uma seqüência de substituições de uma comunidade estável para que entre em equilíbrio com as condições locais (VON SPERLING, 1996). A capacidade suporte de um corpo hídrico é o valor máximo de determinado poluente que ele pode receber sem comprometer a qualidade de suas águas e dos ecossistemas presentes na mesma, por isso, é de suma importância conhecer qual o limite de autodepuração do corpo hídrico, para garantir que ele se enquadre na sua devida classe e seja naturalmente sustentável.

Em 2008, Hoekstra, juntamente da sociedade civil, organizações multilaterais e da academia, fundaram o *Water Footprint Network* (Rede da Pegada Hídrica). Com o objetivo de demonstrar como a Avaliação da Pegada Hídrica pode ajudar a superar os desafios relacionados ao uso insustentável da água, esta rede reúne organizações que estão preocupadas com a crescente escassez hídrica e aumento no nível de poluição e seus impactos nas pessoas e na natureza (WFN, 2008).

Já em 2014, para oferecer uma estrutura harmonizada para quantificação e reporte de Pegadas Hídricas pelas empresas foi desenvolvida ISO 14046/2014. Sendo possível fornecer informações confiáveis e consistentes para interpretar os resultados da Pegada Hídrica e, portanto, encontrar meios de estimar o potencial impacto do consumo e poluição das águas e informar os tomadores de decisão nas indústrias, governos e ONGs (CARVALHO E BERENGUER, 2016).

O objetivo deste trabalho é investigar a pegada hídrica cinza para uma Bacia Hidrográfica urbanizada de Poços de Caldas, para analisar a sustentabilidade da bacia. Responder se, no trecho após o lançamento de esgoto na cidade, a capacidade de assimilação do corpo hídrico tem sido suficiente para diluição de esgoto, ou se há excessivo lançamento de poluentes na região prejudicando os índices de qualidade da água.

A justificativa do estudo também foca em consolidar a Pegada Hídrica Cinza como uma ferramenta representativa de sustentabilidade do corpo hídrico, provando a eficiência da mesma como indicador ambiental. Conhecer a Pegada hídrica cinza de uma bacia hidrográfica garante uma leitura assertiva de seu comportamento perante a sustentabilidade de seus recursos naturais.

Caracterização da Área

A área de estudo está localizada na zona urbana do município de Poços de Caldas e considera as duas principais sub-bacias hidrográficas da cidade, que desembocam no Rio Lambari, pertencente à Bacia Hidrográfica do Rio Pardo. Poços de Caldas apresenta como principais atividades econômicas, o grande polo industrial, a agropecuária e atividades minerárias.

O Rio Lambari, encontra-se nos limites do município de Poços de Caldas, sendo afluente da margem esquerda do Rio Pardo e formado pela junção do Rio das Antas e Ribeirão de Poços, a jusante da barragem Bortolan, com deságue no Rio Pardo, precisamente no reservatório Caconde. A sub-bacia do Rio Lambari possui uma área de drenagem de 515 km² e abrange os municípios de Andradadas, Caldas e Poços de Caldas, estando em sua maior parte (76% da área) dentro do município de Poços de Caldas. A localização exata da área de estudo pode ser vista detalhadamente na Figura 1:

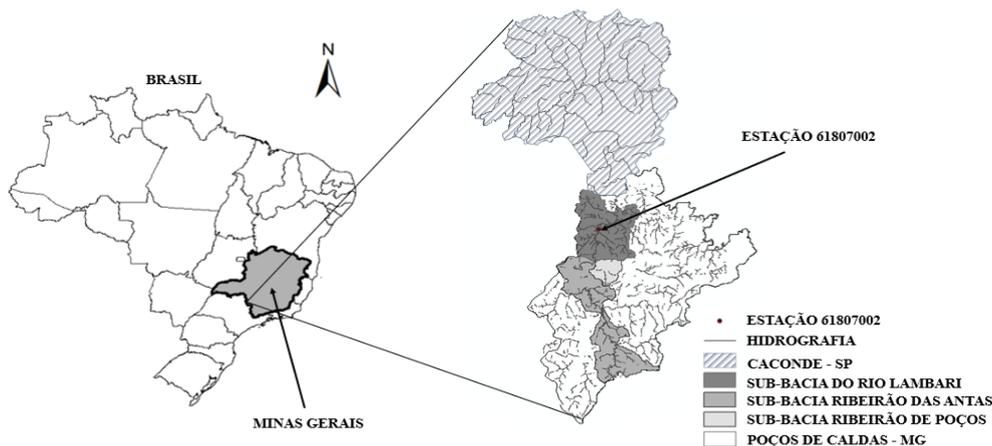


Figura 1 – Localização Geográfica da área de estudo.

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

As águas do Rio Lambari sofrem impacto dos lançamentos de esgoto doméstico, proveniente do município de Poços de Caldas, e dos efluentes industriais, das cargas advindas das atividades agrícola, pecuária e minerária; além das cargas difusas. Esse aporte de esgoto doméstico ocorre no Rio, e corresponde a cerca de 80% do todo esgoto doméstico da cidade. A partir de 2020, iniciou-se a operação da nova Estação de Tratamento de Esgoto (ETE 1), que estima tratar grande parte dessa carga poluidora, visando melhorar a qualidade das águas do corpo hídrico em questão e amenizar o forte odor característico dessa região (DMAE, 2020). O estudo de caso foca a pesquisa na altura do Rio Lambari à jusante das sub-bacias do Ribeirão de Poços e Ribeirão das Antas, por se tratar de uma região mais urbanizada e por concentrar a maior parte do lançamento de esgoto doméstico da cidade.

A geração de esgotos na área urbana está diretamente associada à população. As principais concentrações populacionais, ocorrem nos grandes centros, e seu entorno, em função da disponibilidade de serviços, infraestrutura, logística e outros elementos que privilegiam o desenvolvimento de todos os tipos de atividades nessas regiões

O lançamento do efluente doméstico no rio Lambari ocorre a 30 km da área urbana de Poços de Caldas, onde são lançados 86,40% do esgoto gerado diariamente na cidade. Antes de iniciar as operações da ETE – 1, o município só dispunha de duas estações de tratamento de efluentes, que juntas tratavam apenas 13,60% do total do esgoto gerado, sendo que o restante era lançado sem tratamento no corpo do Rio Lambari. [ANA (2013)].

METODOLOGIA

O cálculo da pegada hídrica cinza

O cálculo da pegada hídrica cinza está expresso na equação (1) e se dá dividindo a carga de poluente (L , em massa/tempo) pela diferença entre a concentração (Kg.m^{-3}) máxima permitida pela legislação e a concentração (Kg.m^{-3}) natural, considerando que não houvesse interferência humana:

$$PH_{cinza} = \frac{L}{C_{máximo} - C_{natural}} \quad (1)$$

PH_{cinza} : Pegada Hídrica Cinza [$\text{m}^3.\text{s}^{-1}$];

L : Carga de Poluente [$\text{Kg}.\text{s}^{-1}$];

$C_{máximo}$: Concentração máxima aceitável do poluente [$\text{Kg}.\text{m}^{-3}$];

$C_{natural}$: Concentração natural do poluente no corpo d'água [$\text{Kg}.\text{m}^{-3}$].

Ressalta-se ainda, que altos valores de pegada hídrica cinza não significam, necessariamente, que os padrões estabelecidos foram ultrapassados, mas que parte da capacidade de assimilação já foi consumida. A assimilação da carga de poluentes que chega até o corpo receptor é feita pela água azul, disponível nos rios, portanto há uma relação direta entre a quantidade de água poluída e a quantidade necessária para diluir essa poluição.

Em função dos valores calculados da pegada hídrica cinza é possível compará-los com a vazão do corpo d'água, a fim de analisar a sustentabilidade do trecho para cada período em escolhido, ou seja, comparar se a pegada hídrica cinza estimada é menor do que a capacidade

de assimilação do rio para garantir sua autodepuração. A princípio, é interessante comparar esses valores de pegada hídrica com as vazões mínimas de referência (Q7,10, Q90% e Q95%) pois essas vazões mínimas são bastante utilizadas na literatura quando se trata de gestão dos recursos hídricos. E após o comparativo com as vazões mínimas é importante comparar também com as vazões observadas, para que dessa forma possa analisar um cenário mais representativo e identificar se há ou não sustentabilidade no trecho.

As análises comparativas consideram 3 períodos distintos ao longo dos anos, primeiro para que se possa ter uma visão temporal do comportamento do rio, e segundo porque esses períodos são aqueles em que havia boa consistência de dados disponíveis, e então forneceriam dados mais confiáveis e representativos. Chamaremos de período 1, entre janeiro de 1969 e dezembro de 1976, de período 2, de janeiro de 1984 até dezembro de 1991, e por último, período 3, àquele iniciado em janeiro de 2014 e com término em dezembro de 2021. Todos os períodos correspondem a 8 anos de análise.

Baseado na análise de sustentabilidade através do comparativo entre vazão média mensal e pegada hídrica cinza, considera-se sustentável todo mês no qual a vazão média supera o valor de pegada hídrica, assim, tem-se uma análise temporal de quais meses do ano se destacam por se comportarem da maneira desejada, e quais são críticos por apresentarem resultados não satisfatórios. Ainda fazendo uso do comparativo entre a vazão média mensal e a pegada hídrica cinza, é possível calcular de maneira aproximada o “balanço hídrico” em cada mês ao longo de cada período de 8 anos. Chamamos de “saldo” toda água que sobrar, ou seja, a soma do volume de água excedente nos casos em que a vazão for superior a pegada hídrica cinza, e chamamos de 'déficit" todo volume de água que faltar para suprir a necessidade de autodepuração do rio. A equação (2) expressa esse cálculo para todo o período de 96 meses (8 anos):

$$BH_{período} = \sum_{i=1}^{96} Qobs_i - \sum_{i=1}^{96} PHC_i \quad (2)$$

$Qobs_i$: Vazão média mensal observada [$m^3.s^{-1}$];

PHC_i : Pegada Hídrica Cinza [$m^3.s^{-1}$];

i : Mês de referência (1 até 96);

$BH_{período}$: Balanço Hídrico do período [$m^3.s^{-1}$];

O Balanço hídrico da bacia hidrográfica, será um índice fundamental para permitir o cálculo de simulações futuras, através dele será possível projetar qual a vazão necessária para garantir uma gestão sustentável do corpo hídrico nos próximos anos.

Estimativa das Variáveis

As informações e dados registrados pelos órgãos e departamentos da cidade de Poços de Caldas, como Departamento Municipal de Meio Ambiente (DMAE); portais federais de monitoramento como o SNIS, foram de suma importância para o cálculo da pegada hídrica cinza. Já para a vazão, fez-se uso dos dados disponíveis no portal HIDROWEB, na estação 61807002 (localização: Latitude -21,73 e Longitude -46,60).

Os dados populacionais e de consumo de água foram retirados do último censo do IBGE e estimados em projeção para os demais anos. Para o consumo médio per capita de água em Poços de Caldas adotou-se o valor de 160 litros/hab/dia, sendo assim, usando um coeficiente de retorno de esgoto de 80%, chega-se em uma geração de esgoto de 128 litros/hab/dia. Para a concentração do esgoto doméstico, usou-se o valor médio usual de 300 mg DBO/litro, e para a concentração de DBO natural do rio, optou-se por usar o valor de 0 mg DBO/litro. (VON SPERLING, 2008).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como a pegada hídrica cinza indica um volume de água em função do tempo é possível fazer uma relação da mesma com as vazões mínimas de referência daquela bacia hidrográfica, a fim de entender qual o comportamento do corpo hídrico comparado aos valores mínimos simulados. Segundo Pruski (2009), as vazões mínimas são aquelas que devem ser mantidas no rio para sustentar determinadas características do ecossistema aquático e que caracterizam a disponibilidade hídrica natural ao longo da hidrografia, contribuindo para a conservação da qualidade da água. Desta forma, considerando as três classes do enquadramento, observando a figura 2a) e 2b) nota-se que nas classes 1 e 2 a pegada hídrica cinza é superior aos valores mínimos de referência em todos os anos de análise, dando indícios de uma insustentabilidade do corpo hídrico neste período. Já na figura 2c) que representa a classe 3, a menos restritiva, mostra um comportamento equilibrado nos primeiros anos de análise, com valores de pegada hídrica cinza inferiores às vazões mínimas, porém, a partir de 2014 os valores de pegada hídrica superam todas as vazões mínimas de referência. Sendo assim, vale a pena aprofundar as análises para os valores observados de vazão, considerando as vazões anotadas mês a mês durante todo o período de estudo. Agora, as Figuras 3, 4 e 5 representam os dados de vazão observados e validados pelo HIDROWEB em função do tempo, e os valores da pegada hídrica cinza calculados também ao longo de cada período de análise nas 3 classes do enquadramento:

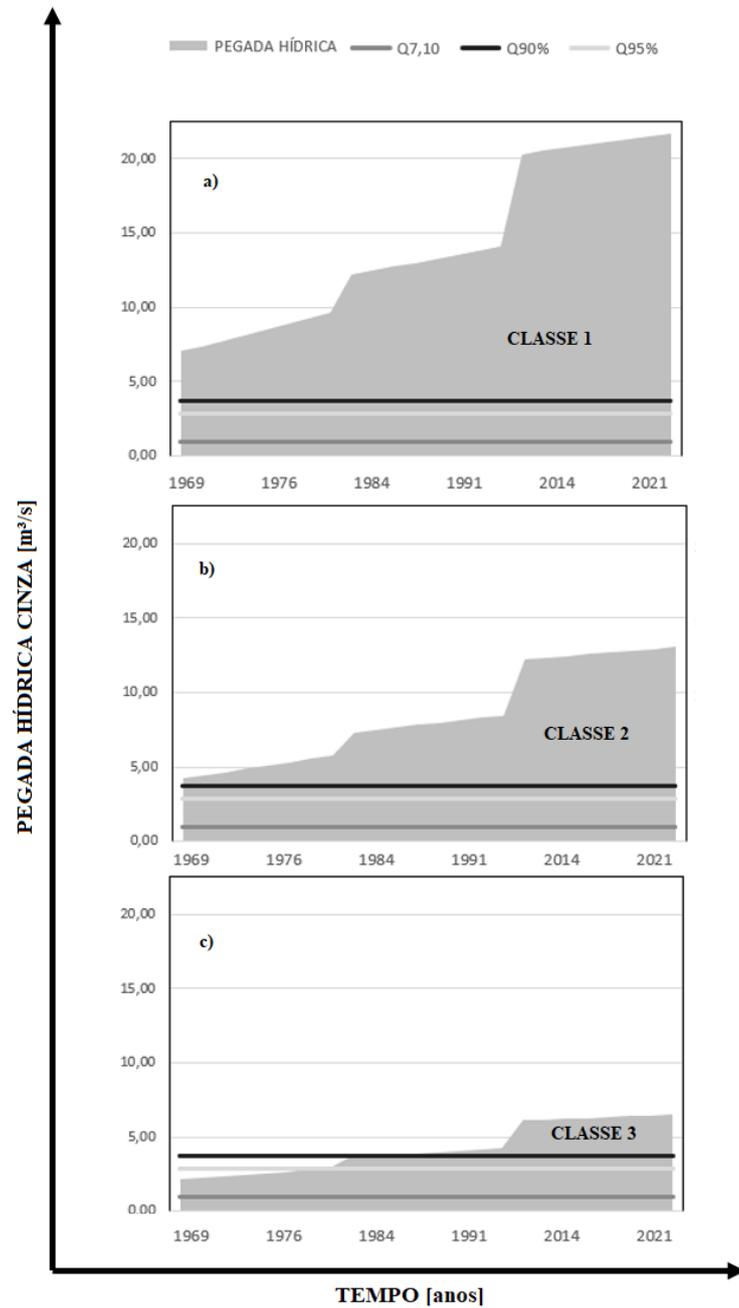


Figura 2 – Pegada hídrica cinza em função do tempo.

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

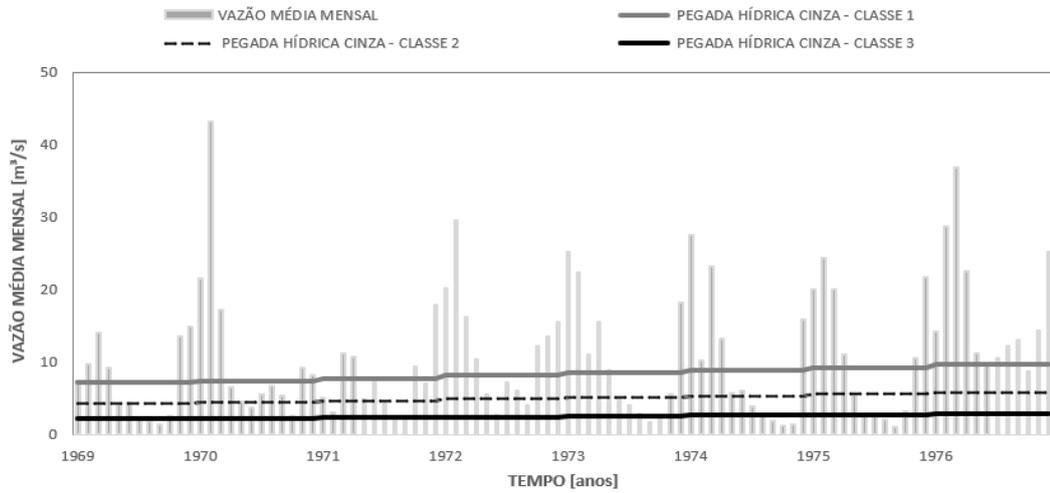


Figura 3 – Comparativo entre vazão média mensal e pegada hídrica cinza (1969 - 1976). Fonte: Elaborado pela autora (2021)

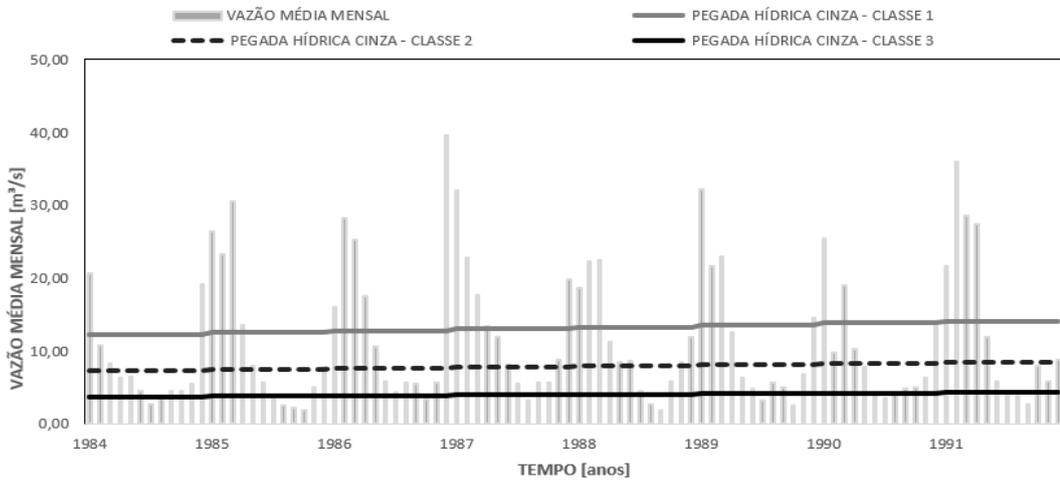


Figura 4 – Comparativo entre vazão média mensal e pegada hídrica cinza (1984 - 1991). Fonte: Elaborado pela autora (2021)

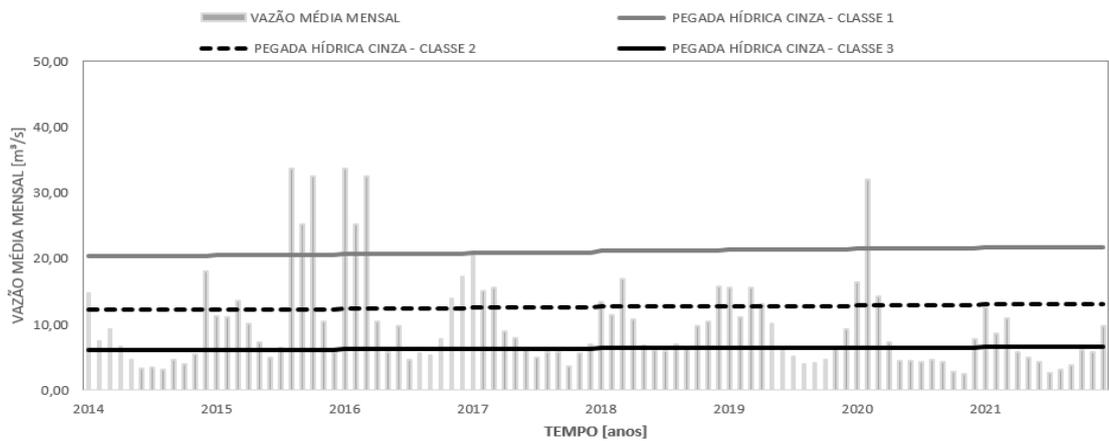


Figura 5 – Comparativo entre vazão média mensal e pegada hídrica cinza (2014 - 2021). Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Nota-se um padrão bastante comum, com vazões mais expressivas nos meses de verão, evidenciando um ciclo mais sustentável, enquanto que, na estação do inverno os valores de vazão se encontram menores que a pegada hídrica calculada, ou seja, períodos aparentemente insustentáveis. Observa-se intervalos de sustentabilidade, que são aqueles em que a vazão do rio é numericamente superior à pegada hídrica, e situações de insustentabilidade, quando ocorre o contrário e a vazão não é capaz de superar os valores de pegada hídrica. É notório também que os valores de vazão não acompanham o crescimento da pegada hídrica, ou seja, ao longo dos anos temos um crescimento da pegada hídrica contínuo, e um decréscimo nos valores de vazões do rio. É possível mensurar desta forma, através de uma análise temporal, quanto cada ano é sustentável em sua respectiva classe, conforme representado na figura 6:

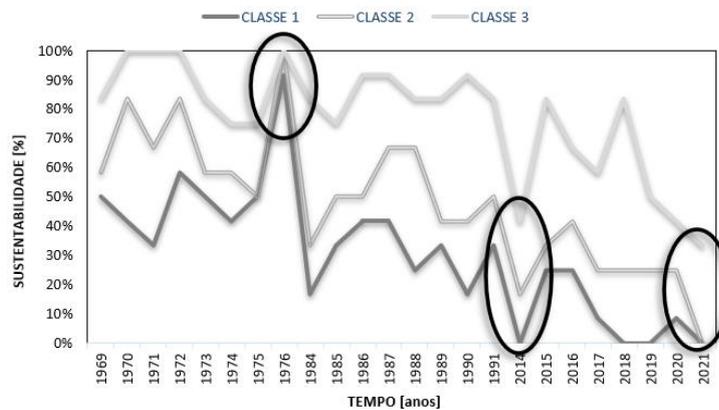


Figura 6 - Análise temporal da Sustentabilidade das classes.

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Observa-se três padrões muito claros na figura 6, o primeiro, refere-se ao ano de 1976, que apresenta os melhores índices de sustentabilidade de todo período de análise, nele, o rio se comporta de maneira sustentável em quase 100% do tempo para todas as classes. Para Fontão (2014), 1976 está entre os cinco anos mais chuvosos da região de Poços de Caldas, o que influencia diretamente nas vazões dessa bacia neste período. Esse fato pode explicar tamanha sustentabilidade do trecho nessa época. Já outro destaque frisa o comportamento negativo do ano de 2014, ano que apresentou sustentabilidade abaixo de 50% nas três classes de enquadramento. Segundo Coelho (2015), a escassez de recursos hídricos em 2014 foi desencadeada por um longo período de baixa precipitação no sudeste brasileiro, episódio que ficou conhecido como a Crise Hídrica. Além disso, houve demora na retomada das chuvas, acentuando ainda mais os impactos da escassez para a população da região. Todavia, a crise hídrica existente neste período não ocorreu somente pela redução dos índices de

precipitação, mas também por fatores relacionados ao gerenciamento da demanda e garantia da disponibilidade hídrica (ANA, 2014). Por fim, o último padrão observado no ano mais crítico até aqui, 2021 apresenta dados preocupantes, ele indica sustentabilidade apenas na classe 3, e mesmo nesta, consegue ser sustentável em apenas 4 meses do ano (33%). Percebe-se também o quanto a sustentabilidade do corpo hídrico (em todas as classes) vem diminuindo ao longo dos anos, o último período já apresenta valores bem críticos.

Para identificar quais meses do ano são mais favoráveis e quais são mais críticos quanto a sustentabilidade, fez-se uma análise mês a mês durante todo o período, os resultados percentuais foram dispostos na Tabela 1:

Tabela 1 - Sustentabilidade nos períodos do ano.

	■ MESES MAIS SUSTENTÁVEIS		■ MESES MENOS SUSTENTÁVEIS	
	SUSTENTABILIDADE CLASSE 1	SUSTENTABILIDADE CLASSE 2	SUSTENTABILIDADE CLASSE 3	SUSTENTABILIDADE GERAL
JANEIRO	71%	92%	100%	88%
MARÇO	67%	92%	100%	86%
FEVEREIRO	63%	75%	100%	79%
DEZEMBRO	50%	79%	96%	75%
OUTUBRO	13%	17%	58%	29%
JULHO	4%	13%	54%	24%
AGOSTO	8%	17%	46%	24%
SETEMBRO	8%	13%	46%	22%

Os meses destacados no início da tabela, são aqueles com os melhores resultados, sendo possível encontrar uma sustentabilidade geral acima de 75%, enquanto os meses destacados ao final apresentaram os valores mais preocupantes, a sustentabilidade geral do período é sempre abaixo dos 30%. Desta forma, é possível identificar, que para a região de Poços de Caldas, de dezembro até março temos um ciclo mais favorável quanto à sustentabilidade, e de julho até outubro um período mais crítico e seco. Identificar esses ciclos é de suma importância para a gestão hídrica desta bacia hidrográfica, para que se possa direcionar as ações e buscar a sustentabilidade completa do trecho em todas as épocas do ano. Segundo Köppen, a classificação climática de Poços de Caldas se caracteriza por inverno seco e verão brando, com período chuvoso entre outubro e março, e período de seca nos meses de abril até setembro, classificação que se assemelha bastante com os resultados deste estudo.

A Tabela 2 mostra a análise de Balanço Hídrico dos 3 períodos de maneira mais detalhada:

Tabela 2 -Balanço Hídrico por Período.

	VAZÃO [m³/s]		
	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3
1969 - 1976	2,27	4,61	8,09
1984 -1991	-1,78	2,87	7,43
2014 - 2021	-11,21	-2,80	3,51

Um detalhe importante é que os períodos analisados não são contínuos, pois não haviam dados consistentes em todos os anos de maneira a permitir essa análise mais completa, portanto, não é possível fazer um comparativo cumulativo de longo prazo, já que não se sabe o comportamento do corpo hídrico nos anos entre um período e outro. Sabendo disso, optou-se por utilizar o último período analisado (2014 - 2021) como base para uma simulação de cenário futuro, e mapear como deverá ser o comportamento do corpo hídrico nos próximos 8 anos a fim de garantir sua sustentabilidade. O valor em destaque na Tabela 2 mostra a diferença de vazão, calculada através da equação (2), nota-se um valor negativo quando se considera a classe 2 de enquadramento, isso significa que o período de 2014 até 2021 acumulou um déficit hídrico acumulado de cerca de $6,97 \times 10^8$ m³. O cenário simulado foca seus resultados também para a classe 2 de enquadramento, estimando que para o próximo período de 8 anos, seja necessária uma vazão média de no mínimo 13,56 m³/s, esse valor comparado à vazão média observado no último período de análise (2014 - 2021) é 38% maior, portanto, para compensar o “prejuízo” hídrico do último período, é necessário um aumento de vazão na casa de 3,75 m³/s no cenário futuro. Se a estimativa for de fato alcançada, o corpo hídrico recupera o déficit hídrico sofrido desde 2014, caso contrário, o saldo negativo continuará acumulado para os demais anos subsequentes. Esse tipo de análise é bastante válida para equilibrar o balanço hídrico da bacia e garantir a sustentabilidade da mesma no trecho de estudo.

CONCLUSÕES

A relação comparativa entre vazões mínimas de referência e vazões observadas com a pegada hídrica cinza calculada, nos permite enxergar resultados distintos. Usando as vazões de referência não se pôde obter resultados tão confiáveis quanto usando as vazões disponíveis, pois nessa segunda análise, é possível observar a oscilação entre sustentável e não sustentável durante os ciclos chuvosos e secos, permitindo uma interpretação mais clara dos meses que atendem as demandas hídricas, e daqueles que se encontram insustentáveis no período.

O estudo confirma que a pegada hídrica cinza estabelece um crescimento contínuo, enquanto a vazão ainda sofre consequências drásticas devido às crises hídricas recentes, e não consegue firmar um cenário estável ou de crescimento contínuo, pelo contrário, vem apresentando quedas bastante significativas desde 2014. Ao utilizar a quantidade de água azul disponível (vazões disponíveis) para a assimilação da água cinza, tem-se então a pegada hídrica cinza como um indicador de sustentabilidade ambiental. O uso da pegada hídrica cinza como indicador ambiental da sustentabilidade do corpo hídrico é uma excelente maneira de mensurar os principais pontos de atenção no que tange a preservação dos recursos hídricos.

Analisar o Balanço Hídrico da pegada hídrica cinza em períodos nos possibilita enxergar se há excedente ou déficit de água, e isso é fundamental para tomadas de decisões, direcionamento de ações, preservação e recuperação dos recursos hídricos. Daí se dá a importância de tornar esse indicador cada vez mais comum nos estudos de sustentabilidade, já que ele oferece diversas maneiras de interpretar o comportamento da bacia hidrográfica. A Pegada Hídrica possui um papel norteador para a gestão das águas. Portanto, é extremamente importante a operação da ETE 1, pois considerando a piora significativa na sustentabilidade da bacia, é cada vez mais essencial a eficiência no tratamento do esgoto nessa região, para garantir que a sustentabilidade do rio seja restabelecida e mantida ao longo dos anos, evitando que a poluição seja cumulativa para os rios e reservatórios à jusante, fato que ocorre nos cenários atuais e prejudica diretamente os ecossistemas aquáticos desta região.

REFERÊNCIAS

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS; *Manual técnico de medição de descarga líquida em grandes rios*. Brasília, (2013) Disponível em <<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2014/MedicaoDeDescargaLiquidaEmGrandesRiosManualTecnico2ed.pdf>>.

CARVALHO, D.M., BERENGUER, M. E. M. (2016) *Pegada Hídrica e Análise e Sustentabilidade do Tratamento De Água No Brasil: Um Estudo De Caso Da ETA Laranjal*. Trabalho de Conclusão de Curso. Escola Politécnica/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. (2005) *Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes*

ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília.

COELHO, C. A. S.; CARDOSO, D. H. F.; FIRPO, M. A. F. *Precipitation diagnostics of an exceptionally dry event in São Paulo, Brazil. Theoretical and Applied Climatology.* v. 125, p. 1-16, 2015.

DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTO DE POÇOS DE CALDAS (DMAE). Disponível em: <<http://dmaepc.mg.gov.br/>>. Acesso em 10 de janeiro 2021.

HIDROWEB (ANA) – Agência Nacional das Águas. Hidroweb: *Sistemas de informações hidrológicas.* <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em 18 de março de 2021.

FONTÃO, P. A.B; Ritmo das chuvas na Bacia do Pardo (SP/MG): *Reflexos na vazão dos rios Pardo e Mogi-Guaçu*; 2014; Dissertação de Mestrado; Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”; Rio Claro - SP.

HOEKSTRA, A, CHAPAGNAIN, ZARATE, E., M ALDANA. (2002) *Water footprint manual.* Univ Twente/UNESCO-IHE, Report Nr 41, Entschede/Deflt, Holanda, 301p.

HOEKSTRA, A., CHAPAGAIN, A., ALADAYA, M., & MEKONNEM, M. M. (2011). *Manual de Avaliação da Pegada Hídrica: Estabelecendo o Padrão Global.* Editora Earthscan.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - *Contagem da População.* Disponível em : <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat>>

KÖPPEN, W. *Das geographische System der Klimate.* In: KÖPPEN, W.; GEIGER, R. (Eds): *Handbuch der Klimatologie.* Berlin: Gebrüder Bornträger, 1936. Banda 1, Parte C, p. 1.

RUSKI, F.F., NUNES, A.A., REGO, F.S., SOUZA, M.F. (2009). *Extrapolação de equações de regionalização de vazões mínimas: alternativas para atenuar os riscos.* Water Resources and Irrigation Management, v.1, n.1, p.51-59.

SERRER, F.; SCHERER, M. P. O sistema brasileiro de gerenciamento dos recursos hídricos: Uma Proposta Democrática e Participativa no Tratamento da Água. *Direito em Debate*, [S.L], n. 45, p. 209-228, 2016.

UNITED NATIONS INTER-AGENCY COORDINATION MECHANISM FOR ALL FRESHWATER ISSUES (UNWATER), 2015, *Water for a sustainable world: The United Nations World Water Development Report* (2015). Disponível em <<http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002318/231823E.pdf>>.

VON SPERLING, M. (1996) *Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos*. 2. ed. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais.

VON SPERLING, M. (2008) *Estudos e modelagem da qualidade da água de rios: Modelagem clássica do oxigênio dissolvido (modelo de Streeter- Phelps)*. Editora UFMG, Vol.7.

WATER FOOTPRINT NETWORK (WFN). (2008) Disponível em: <<http://www.waterfootprint.org/?page=files/home>>. Acesso em 15 de outubro de 2021.

4 CONCLUSÃO

O estudo confirma que a pegada hídrica cinza estabelece um crescimento contínuo, enquanto a vazão ainda sofre consequências drásticas devido às crises hídricas recentes, e não consegue firmar um cenário estável ou de crescimento contínuo, pelo contrário, vem apresentando quedas bastante significativas desde 2014. Ao utilizar a quantidade de água azul disponível (vazões disponíveis) para a assimilação da água cinza, tem-se então a pegada hídrica cinza como um indicador de sustentabilidade ambiental. O uso da pegada hídrica cinza como indicador ambiental da sustentabilidade do corpo hídrico é uma excelente maneira de mensurar os principais pontos de atenção no que tange a preservação dos recursos hídricos.

Analisar o Balanço Hídrico da pegada hídrica cinza em períodos nos possibilita enxergar se há excedente ou déficit de água, e isso é fundamental para tomadas de decisões, direcionamento de ações, preservação e recuperação dos recursos hídricos. Daí se dá a importância de tornar esse indicador cada vez mais comum nos estudos de sustentabilidade, já que ele oferece diversas maneiras de interpretar o comportamento da bacia hidrográfica. A Pegada Hídrica possui um papel norteador para a gestão das águas. Portanto, é extremamente importante a operação da ETE 1, pois considerando a piora significativa na sustentabilidade da bacia, é cada vez mais essencial a eficiência no tratamento do esgoto nessa região, para garantir que a sustentabilidade do rio seja restabelecida e mantida ao longo dos anos, evitando que a

poluição seja cumulativa para os rios e reservatórios à jusante, fato que ocorre nos cenários atuais e prejudica diretamente os ecossistemas aquáticos desta região.

A jornada deste trabalho permitiu enxergar a importância da pegada hídrica cinza como indicador ambiental e como ferramenta essencial na busca da sustentabilidade dos corpos hídricos, pois indica de forma clara qual a situação de cada trecho e consegue mensurar o quanto de água tem-se de déficit ou de sobra. Estudar a pegada hídrica cinza permite abrir um leque enorme de possibilidades para a aprimoramento da gestão das águas, mostrando o quanto é possível explorar essas ferramentas para o objetivo comum, de sustentabilidade ambiental.

REFERÊNCIAS

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELETRICA – ANEEL e ANA, **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. Brasília, 2001.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS; **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: Informe 2010**. Brasília: ANA, 2010. Acesso em: 16 de set. 2021.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS; **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: Relatório 2013**. Brasília: ANA, 2013. Acesso em: 30 de out. 2021.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS; **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: Relatório 2017**. Brasília: ANA, 2017. Acesso em: 10 de dez. 2021.

ANA - AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS; **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2018: Informe Anual**. Agência Nacional de Águas. Brasília, 2018.

BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução 32, 15/10/2003. Institui a divisão hidrográfica do Brasil, 2003**. Disponível em <<http://www.cnrh.gov.br/divisao-hidrografica-nacional/74-resolucao-n-32-de-15deoutubro-de2003/>>.

BRASIL. **Resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. Publicada no D.O.U. em 18 de março de 2005.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente**, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm.

CBH GRANDE. **Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Grande**. Disponível em: <https://www.cbhgrande.org.br/bacia>. Acesso em: 14 de agosto de 2021.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Índices de Qualidade das Águas**. 2017. Disponível em: <http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/wpcontent/uploads/sites/12/2013/11/01.pdf>.

CORDEIRO, A.F.F. (2014) **Avaliação da Pegada Hídrica de uma Empresa**. 99 f. Dissertação- Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTO DE POÇOS DE CALDAS (DMAE). **Arquivos Internos**. Poços de Caldas, 2017a.

DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTO DE POÇOS DE CALDAS (DMAE). **Arquivos Internos**. Poços de Caldas, 2017b.

DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTO DE POÇOS DE CALDAS (DMAE). Disponível em: < <http://dmaepc.mg.gov.br/>>. Acesso em 10 de Janeiro 2021.

FIOREZE, A. P.; OLIVEIRA, L. F. C. de. **Usos dos recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Bárbara, Goiás**. Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia/GO, v. 40, n. 1, p. 28-35, jan./mar. 2010.

FRANTZ, L. C. **O processo de outorga de direito de uso de recursos hídricos superficiais no Rio Grande do Sul: contribuições para o aprimoramento**. 2009. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, 2009.

FRITZEN, M; BINDA, A. L. **Alterações no Ciclo Hidrológico em Áreas Urbanas: Cidade, Hidrologia e Impactos no Ambiente**. Vol. 5. Nº 3. Goiânia/Go: Ateliê Geográfico, 2011. p. 239-254.

GIACOMIN, G. S., JR, A. A. O. **A pegada hídrica como instrumento de conscientização ambiental**, v. 7, n. 7, p. 1517–1526. 2012.

HOEKSTRA, A, CHAPAGNAIN, ZARATE, E., M ALDANA. (2002) **Water footprint manual**. Univ Twente/UNESCO-IHE, Report Nr 41, Enschede/Deflt, Holanda, 301p.

HOEKSTRA, A., CHAPAGAIN, A., ALADAYA, M., & MEKONNEM, M. M. (2011). **Manual de Avaliação da Pegada Hídrica: Estabelecendo o Padrão Global**. Editora Earthscan.

IGAM – INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS; CBH-MOGI/PARDO – COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA DOS AFLUENTES MINEIROS DOS RIOS MOGI GUAÇU E PARDO. **Plano diretor da bacia hidrográfica dos afluentes mineiros dos rios Mogi-Guaçu e Pardo (unidade de gestão GD06): fase II – prognóstico**. Delfim Moreira, MG: Fundação Educacional de Ensino de Técnicas Agrícolas, Veterinárias e de Turismo Rural, 2010.

LANNA. Antonio Eduardo. **A inserção da gestão das águas na gestão ambiental**. IN: MUÑOZ, Héctor (org). *Interfaces da Gestão de recursos hídricos: desafios da lei das águas de 1997*. 2.ed. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, 2000.

MAIA, H. J. L., HORA, S. C. DA, FREITAS, J. P. DE, VIEIRA, A. A. P., & FREITAS, F. E. DE. **A pegada hídrica e sua relação com os hábitos domésticos, alimentares e consumistas dos indivíduos**. *PolêmiCa*, v. 11, n. 4, p. 650-660, 2012. Disponível em: . Acesso em: 30 out. 2021.

OMM/UNESCO, **Hay suficiente água em el mundo?**, 1997.

PENEV, S. *et al.* **Applications of MIDAS regression in analysing trends in water quality**. *Journal of Hydrology*, v. 511, p.151–159, 2014. PIÑEIRO DI BLASI, J. I. *et al.* Analysis and detection of outliers in water quality parameters from ‘different automated monitoring stations in the Miño river basin (NW Spain)’. *Ecological Engineering*, v. 60, p. 60–66, 2013.

POÇOS DE CALDAS. Secretaria de Planejamento e Coordenadoria. Projeto hidrogeoambiental. **Revisão do plano diretor do município de Poços de Caldas**. Poços de Caldas: Exatus – Planejamento, Consultoria e Projetos, 2006. Disponível em: <<https://www.pocosdecaldas.mg.leg.br>>. Acesso em 10 de Janeiro 2020.

PREFEITURA MUNICIPAL DE POÇOS DE CALDAS (PMPC). **Lei Orgânica do Município de Poços de Caldas/MG**. Poços de Caldas, 21 mar.1990.

SILVEIRA, G. L.; ROBAINA, A. D.; GIOTTO, E.; DEWES, R. **Outorga para uso dos recursos hídricos: aspectos práticos e conceituais para o estabelecimento de um sistema informatizado**. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre/RS, v. 3, n. 3, p. 5-16, jul./set. 1998.

SOUZA, C.F.; CRUZ, M.A.S.; TUCCI, C.E.M. **Desenvolvimento urbano de baixo impacto: planejamento e tecnologias verdes para a sustentabilidade das águas urbanas.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 17, n. 2, p. 9-18, abr.-jun., 2012.

SPERLING, M.V. **Estudos e Modelagem da qualidade da água de rios.** 2. ed. Editora UFMG. 2014.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação.** 3 ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2002. 943p.

UNESCO, **Glossário Internacional de Hidrologia**, PT1041, disponível em <<http://webworld.unesco.org/water/ihp/db/glossary/glu/aglu.htm>>, 2007.

VEIGA, L. B. E.;MAGRINI, A. **The brazilian water resources management policy: fifteen years of success and challenges.** Water Resources Management, v. 27, n. 7, p. 2287-2302, mai. 2013.

VOGUEL, R. M.; FENNESSEY, N. M. (1994). **Flow-duration curves. I: New interpretation and confidence intervals.** In: Journal of Water Resources Planning and Management, Vol. 120, n° 4, p. 485-504. Jul/Aug. 1994.