

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SUSTENTABILIDADE NA GESTÃO
AMBIENTAL

Manoela Anechini Simões Marins

AVALIAÇÃO DA PEGADA DE ESCASSEZ HÍDRICA:
Um comparativo entre duas metodologias de pegada hídrica aplicada no *campus*
Sorocaba da Universidade Federal de São Carlos.

Sorocaba

2020

Manoela Anechini Simões Marins

**AVALIAÇÃO DA PEGADA DE ESCASSEZ HÍDRICA:
Um comparativo entre duas metodologias de pegada hídrica aplicada no *campus*
Sorocaba da Universidade Federal de São Carlos.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade na Gestão Ambiental para obtenção do título de Mestre em Sustentabilidade na Gestão Ambiental.

Orientação: Prof. Dr. André Cordeiro Alves dos Santos

Sorocaba

2020

Marins, Manoela Anechini Simões

Avaliação da pegada de escassez hídrica: um comparativo entre duas metodologias de pegada hídrica aplicada no campus Sorocaba da Universidade Federal de São Carlos / Manoela Anechini Simões Marins -- 2020. 137f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba

Orientador (a): André Cordeiro Alves dos Santos Banca

Examinadora: Kelly Cristina Tonello, Jussara de Lima Carvalho

Bibliografia

1. Pegada hídrica. 2. ISO 14046:2017. 3. Water Footprint Network. I. Marins, Manoela Anechini Simões. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)
DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável:
Maria Aparecida de Lourdes Mariano - CRB/8 6979

FOLHA DE APROVAÇÃO

MANOELA ANECHINI SIMÕES MARINS

AVALIAÇÃO DA PEGADA DE ESCASSEZ HÍDRICA:

Um comparativo entre duas metodologias de pegada hídrica aplicada no *campus* Sorocaba da Universidade Federal de São Carlos.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade na Gestão Ambiental para obtenção do título de Mestre em Sustentabilidade na Gestão Ambiental. Sorocaba, 30 de outubro de 2020.

Orientador

Dr. (a) André Cordeiro Alves dos Santos
UFSCar

Examinadora

Dr. (a) Kelly Cristina Tonello
UFSCar

Examinadora

Dr. (a) Jussara de Lima Carvalho
Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo
SIMA-SP

DEDICATÓRIA

Ao meu esposo Plínio e filho Danilo pela paciência e pelo incentivo.

AGRADECIMENTO

Agradeço à UFSCar e ao PPGSGA pela oportunidade.

Ao Prof. Dr. André Cordeiro pela confiança e partilha de conhecimento

Ao Prof. Ismail e a Profa. Kelly pelo apoio e relevantes contribuições durante a qualificação e

à Jussara pela participação na banca.

Agradeço aos meus amigos e colegas que me acompanharam durante o percurso acadêmico,

em especial Érica Akim, Érika Bedin, Fábio Zagues e Suelen Rodrigues.

Ao meu esposo Plínio e filho Danilo pela paciência e ajuda em todos os momentos.

Agradeço à minha mãe pela dedicação e por me incentivar a continuar os meus estudos.

EPIGRAFE

“If you can not measure it, you can not improve it”

(William Thomson)

RESUMO

MARINS, Manoela A. S. AVALIAÇÃO DA PEGADA DE ESCASSEZ HÍDRICA: Um comparativo entre duas metodologias de pegada hídrica aplicada no *campus* Sorocaba da Universidade Federal de São Carlos. 2020. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade na Gestão Ambiental – Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba.

A crise hídrica vem sendo destaque no cenário internacional. Apesar da água disponível no planeta ser suficiente para atender as demandas, sua má distribuição compromete o abastecimento em várias regiões do mundo e em períodos específicos do ano. Várias comunidades vêm desenvolvendo ferramentas para estimar os potenciais impactos do uso da água pelo homem, e uma ferramenta que vem ganhando destaque é a pegada hídrica. Proposta por duas comunidades, a Water Footprint Network (WFN) e a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) normalizado pela ISO 14046:2017, a ferramenta mede a apropriação dos recursos hídricos pelo homem e seus impactos. Dessa forma, esta pesquisa objetiva comparar as duas abordagens de pegada hídrica e a aplicação das duas metodologias em uma Instituição Federal de Ensino Superior (IFES) localizada na Bacia do Rio Sorocaba, como suporte para tomada de decisões. Apesar das duas metodologias apresentarem subsídios consistentes, a WFN foca no volume de água consumido, é mais eficiente na tomada de consciência sobre a quantidade de água apropriada pelo homem e menos complexa para aplicação, contudo há incertezas quanto ao cálculo da pegada hídrica cinza, pois não avalia o potencial impacto do poluente e sim a quantidade de água necessária para a sua diluição na bacia. Já a ISO 14046:2017 é mais eficiente na demonstração dos potenciais impactos e riscos relacionados ao uso dos recursos hídricos, mas é complexa e carece de maiores esforços para aplicação. A norma não define o método deixando a escolha subjetiva. Além disso, a metodologia não engloba o uso da água verde. Para a aplicação no *campus*, os dados disponíveis foram suficientes para realizar a avaliação da escassez hídrica do uso direto da água. Na aplicação das metodologias, identificou-se a insustentabilidade da bacia entre os meses de maio a novembro em ambos os métodos, entretanto, a abordagem da ACV apresentou maior sensibilidade no resultado, apresentando escassez hídrica na base anual, o que não ocorreu na WFN.

Palavras-chave: Pegada hídrica. ISO 14046:2017. Water Footprint Network.

ABSTRACT

The water crisis has been highlighted on the international scene. Although the water available on the planet is sufficient to meet the demands, its poor distribution compromises the supply in various regions of the world and at specific times of the year. Several communities have been developing tools to estimate the potential impacts of water use by man, and a tool that is gaining prominence is the water footprint. Proposed by two communities, the Water Footprint Network (WFN) and the Life Cycle Assessment (LCA) standardized by ISO 14046: 2017, the tool measures the appropriation of water resources by man and their impacts. Thus, this research aims to compare the two water footprint approaches and the application of the two methodologies in a Federal Institution of Higher Education (IFES) located in the Sorocaba River Basin, as a support for decision making. Although the two methodologies present consistent subsidies, the WFN focuses on the volume of water consumed, it is more efficient in raising awareness about the amount of water appropriate for man and less complex for application, however there are uncertainties regarding the calculation of the gray water footprint, because it does not assess the potential impact of the pollutant, but the amount of water needed for its dilution in the basin. ISO 14046: 2017 is more efficient in demonstrating the potential impacts and risks related to the use of water resources, but it is complex and requires greater efforts for application. The norm does not define the method leaving the subjective choice. In addition, the methodology does not include the use of green water. For the application on campus, the available data was sufficient to carry out the assessment of water scarcity from direct water use. In the application of the methodologies, the unsustainability of the basin was identified between the months of May and November in both methods, however, the LCA approach showed greater sensitivity in the result, presenting water scarcity in the annual basis, which did not occur in the WFN.

Keywords: *Water Footprint. ISO 14046. Water Footprint Network.*

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Numero de publicações por países na base de dados Web of Science entre 2006 e 2019.	27
FIGURA 2 – Publicações por ano na base de dados web of Science entre 2006 e 2019...27	27
FIGURA 3 – Produção brasileira na abordagem WFN e ACV/ISO14046 na base de dados Web of Science de 2006 a 2019.	31
FIGURA 4 - Fases da avaliação da pegada hídrica WFN.	32
FIGURA 5 - estágios do ciclo de vida.	36
FIGURA 6 - Fases da avaliação da pegada hídrica na ACV.	37
FIGURA 7 - Exemplos de fronteiras de uma organização.	39
FIGURA 8 - Procedimento para análise do inventário da pegada hídrica.	40
FIGURA 9 - Elementos obrigatórios e opcionais da AICV.	42
FIGURA 10 - Exemplos de categoria de impacto midpoint e endpoint.	43
FIGURA 11 - Indicador de categoria de impacto ambiental escassez hídrica.	44
FIGURA 12 - Relacionamento dos elementos da fase de interpretação com as outras fases da ACV.	46
FIGURA 13 – Municípios pertencentes à Bacia do Rio Sorocaba.	67
FIGURA 14 - Meses do ano em que a demanda excede a disponibilidade segundo a metodologia WFN utilizando dados de Abreu e Tonello (2017; 2018).	71
FIGURA 15 – Municípios pertencentes à Bacia do Rio Sorocaba.	84
FIGURA 16 - Localização do <i>campus</i> Sorocaba da UFSCar em relação à Bacia Hidrográfica do Rio Sorocaba.	84
FIGURA 17 - Demanda regionalizada (não engloba a demanda ambiental).	87
FIGURA 18 – Análise de sensibilidade com projeções estimadas de expansão do campus (cenário 1 – atual com 3.460 pessoas; cenário 2 projeção de 8.200 pessoas e cenário 3 com projeção de 10.000 pessoas) nas vazões média, mínima e máxima da série de Abreu e Tonello (2017) em m ³	90
FIGURA 19 – Municípios pertencentes à Bacia do Rio Sorocaba.	127
FIGURA 20 - Localização do <i>campus</i> Sorocaba da UFSCar em relação à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 10.	128
FIGURA 21 - Construção da estrutura para reuso da água prevista no plano diretor.	130
FIGURA 22 - Fluxograma de reuso da água previsto no plano diretor.	130

FIGURA 23 - Estação de tratamento de esgoto.....	131
FIGURA 24 - Localização dos poços I e II e do reservatório central.	129

LISTA DE TABELAS

TABELA 1– Pegada de Escassez Hídrica Azul segundo WFN utilizando dados de Abreu e Tonello (2017; 2018).	70
TABELA 2 - Índice de Impacto da Pegada Hídrica Azul (IPH_{azul} em metro cúbico (m³) e por pessoa em litros) do campus Sorocaba da UFSCar segundo WFN.	71
TABELA 3 - Consumo de água captada por pessoa.	72
TABELA 4 - Água captada e a estimativa do uso consuntivo segundo ANA (2013).	85
TABELA 5 - Fatores de caracterização (FC) regionalizados e aplicados no campus Sorocaba.	87
TABELA 6 - Dados de vazão média do posto fluviométrico Entre Rios (4E-001) em m³ s⁻¹.	88
TABELA 7 - Atribuição dos fatores de incerteza dos dados do campus Sorocaba da UFSCar e da bacia do Rio Sorocaba.	91
TABELA 8 - Matriz pedigree: qualidade da fonte dos dados	123
TABELA 9- Fatores de incerteza padrão aplicados à pontuação pela qualidade dos dados.	124
TABELA 10 - Fatores básicos de incerteza (sem dimensão) aplicados a entradas e saídas da tecnosfera e a fluxos elementares; c: emissões de combustão; p: emissões do processo; a: emissões agrícolas;	124

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - Produções brasileiras sobre o tema da pegada hídrica na base de dados da Web of Science de 2006 a 2019.	29
QUADRO 2 - Definição de objetivo e escopo da avaliação da pegada hídrica	38
QUADRO 3 - Estágios da pegada hídrica segundo WFN e ACV.	48
QUADRO 4 - Principais limitações encontradas para cada abordagem de pegada hídrica.....	49
QUADRO 5 - Relação da literatura com aplicação da metodologia "Pegada Hídrica" em Instituições de Ensino.....	66
QUADRO 6 - Prioridades da UFSCar para o PES.	134

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AICV	Análise do Inventário do Ciclo de Vida
ANA	Agência Nacional de Águas
AWaRe	Available Water Remaining
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CCGT	Centro de Ciências em Gestão e Tecnologia
CCHB	Centro de Ciências Humanas e Biológicas
CCTS	Centro de Ciências e Tecnologias para a Sustentabilidade
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DA	Disponibilidade de água
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
DeMCE	Departamento de Manutenção e Elétrica
DeSG	Departamento de Serviços Gerais
DiDFO	Divisão de Desenvolvimento Físico e Obras
DVA	Demanda de Vazão Ambiental
EA	Escassez de Água
ET	Evapotranspiração
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
EUA	Estados Unidos da América
EPA	Environmental Protection Agency
ICV	Iniciativa do Ciclo de Vida
IFES	Instituição Federal de Ensino Superior
IIPH	Índice de Impacto da Pegada Hídrica
ISO	International Organization for Standardization
LCI	Inventário do Ciclo de Vida
LCIA	Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida
LCM	Gerenciamento do Ciclo de Vida
NPA	Nível de Poluição da Água
PES	Projeto Esplanada Sustentável
PH	Pegada Hídrica
PU	Prefeitura Universitária

REPA	Resource and Environmental Profile Analysis
SAAE	Serviço de Abastecimento de Água e Esgoto de Sorocaba
SETAC	Society of Environmental Toxicology and Chemistry
SGA	Secretaria de Gestão Ambiental
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
UNEP	Nations Environment Programme
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
WFN	Water Footprint Network
WULCA	Water Use Life Cycle Assessment

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 OBJETIVOS.....	19
1.1.1 Objetivo Geral	19
1.1.2 Objetivos Específicos	19
2 CAPÍTULO 1 - PEGADA HÍDRICA: UM COMPARATIVO ENTRE DUAS METODOLOGIAS.	20
2.1 INTRODUÇÃO.....	21
2.2 REVISÃO DE LITERATURA	22
2.2.1 Pegada hídrica segundo a <i>Water Footprint Network</i> (WFN) – uma linha do tempo	22
2.2.2 Pegada hídrica segundo a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) – uma linha do tempo	24
2.2.3 Levantamento bibliográfico	26
2.3 AS METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DE PEGADA HÍDRICA.....	31
2.3.1 Avaliação da pegada hídrica segundo a WFN	31
2.3.2 Avaliação da pegada hídrica segundo a análise do ciclo de vida (ISO 14046)	36
2.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	47
2.4.2 Limitações	48
2.5 CONCLUSÕES	49
REFERÊNCIAS	51
3 CAPÍTULO 2 - PEGADA HÍDRICA AZUL DE UM CAMPUS UNIVERSITÁRIO: UM ESTUDO DE CASO	63
3.1 INTRODUÇÃO.....	64
3.2 REVISÃO DE LITERATURA	65
3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	70
3.5 CONCLUSÕES	74
REFERÊNCIAS	75
4 CAPÍTULO 3 - PEGADA DE ESCASSEZ HÍDRICA DE UM CAMPUS UNIVERSITÁRIO: UM ESTUDO DE CASO.	79
4.1 INTRODUÇÃO.....	79
4.2 REVISÃO DE LITERATURA	80
4.3 MÉTODOS.....	81
4.3.1 Definição de objetivo e escopo	81
4.3.2 Análise do Inventário da pegada	82

4.3.3 Avaliação do Impacto da Pegada Hídrica	85
4.3.4 Interpretação do Ciclo de Vida	86
4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	87
4.4.1 Análise de sensibilidade	88
4.4.2 Incertezas e limitações.....	91
4.5 CONCLUSÕES.....	92
REFERÊNCIAS	93
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	98
REFERÊNCIAS	100
APÊNDICE I - Pontos de água por edificação.....	115
APÊNDICE II - Cartaz: vamos evitar o desperdício?	116
APÊNDICE III - Métodos ACV	117
APÊNDICE IV - <i>Matriz pedigree</i>.....	123
APÊNDICE V - Caracterização detalhada e localização da área de estudo.....	127

1 INTRODUÇÃO

Em 2012, o Fórum Econômico Mundial apresentou a crise hídrica como um dos cinco maiores riscos globais em termos de impacto. O crescimento na demanda de água para atendimento à agricultura, ao abastecimento urbano e industrial, acrescido aos efeitos resultantes das mudanças climáticas tem liderado a disputa pela água em diversos países no mundo (HOEKSTRA *et al.*, 2012; MARQUES, 2016; WEF, 2020). Um estudo realizado por Mekonnen e Hoekstra (2016) apontou que dois terços da população global vivem em condições de severa escassez hídrica em pelo menos um mês durante o ano, o que equivale a aproximadamente quatro bilhões de pessoas no mundo.

No Brasil, a demanda de água cresceu cerca de 80% nas três últimas décadas, enquanto as reservas hídricas nos padrões de qualidade aceitáveis têm diminuído (ANA, 2017; BRASIL, 2006). Tal fator evidencia a insustentabilidade do uso deste recurso natural no país. Segundo Kundzewicz *et al.* (2007), as práticas atuais de gerenciamento de água no Brasil são inadequadas para mitigar os efeitos da crise hídrica de forma sistêmica. Nesse contexto surge a necessidade de indicadores de uso dos recursos hídricos para aplicação de práticas que levem ao uso mais eficiente da água e seu melhor gerenciamento, tanto no setor privado, quanto no público.

Um dos instrumentos que vem adquirindo destaque é a Pegada Hídrica (EMPINOTTI e JACOBI, 2012). O conceito é proposto por duas comunidades distintas, a *Water Footprint Network* (WFN) e a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) (ISO 14046:2017). Os métodos são similares e abrangem o cálculo do uso da água e seus impactos, mas diferem na comunicação dos resultados (PFISTER, 2017).

O indicador mede a utilização da água na produção de bens e serviços, considerando seu uso consuntivo e sua degradação em cada processo (HOEKSTRA e CHAPAGAIN, 2008; CHAPAGAIN e HOEKSTRA, 2008; HOEKSTRA *et al.*, 2011). Pode ser calculada para um produto, indivíduo, cidade ou país, assim como para uma organização pública ou privada, entre outras diversas aplicabilidades. A pegada hídrica considera o uso direto e indireto da água e pode ser considerada um indicador abrangente da apropriação da água pelo ser humano (HOEKSTRA *et al.*, 2011).

No setor público, as universidades desenvolvem uma diversificada gama de atividades relacionadas à pesquisa, ensino e extensão. Dessa forma, demandam muita água, principalmente para as atividades laboratoriais, mas também nas atividades de rotina como na limpeza dos edifícios, na utilização de sanitários pela comunidade acadêmica, entre outros (CARLI *et al.*, 2013). Além de ser um ambiente com potencialidade para a criação e a difusão

de um pensamento sustentável, por ser formadores de opiniões (GAZZONI *et al.*,2018), as Universidades “devem colocar em prática aquilo que ensinam, tornando a sua própria gestão interna um modelo de gestão sustentável [...] influenciando com resultados as organizações as quais os seus formandos irão fazer parte” (LARA, 2012, p.1647).

Nesse âmbito, será aplicada nesta pesquisa as duas abordagens de pegada hídrica (WFN e ISO 14046) em uma Instituição de Ensino Superior localizada no interior do estado de São Paulo. A instituição foi criada sob o viés da sustentabilidade e está inserida em uma bacia hidrográfica o qual apresenta escassez hídrica (ABREU e TONELLO, 2015; 2017 e 2018; CBH SMT, 2019) podendo ocorrer disputa para os usos múltiplos da água na região. Dessa forma, poderá apresentar o quadro atual da Instituição relacionado ao uso da água de forma direta e sua participação em relação à disponibilidade hídrica da bacia, apresentando aos gestores da IFES possíveis cenários em caso de expansão da Instituição.

A pesquisa está dividida em 3 capítulos, o primeiro aborda de forma completa as duas metodologias de pegada hídrica, na abordagem da WFN e da ISO 14046:2017, identificando os pontos fortes e fracos e suas limitações. O segundo e o terceiro capítulos se resumem na aplicação das metodologias, WFN e ISO 14046:2017 respectivamente, no *campus* em estudo, identificando os pontos críticos e sugerindo ações para mitigação dos impactos relacionados ao uso da água pela instituição.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Comparar duas metodologias de pegada de escassez hídrica (WFN e ISO 14046:2017), em uma Instituição Federal de Ensino Superior, localizada no interior do Estado de São Paulo, como suporte para tomada de decisões.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Quantificar o uso consuntivo da IFES com base nos fluxos de captação e coeficiente de retorno.
- b) Avaliar a sustentabilidade ambiental da Instituição em relação à disponibilidade dos recursos hídricos segundo a Metodologia WFN.
- c) Calcular o impacto ambiental da escassez hídrica referente ao uso da água na Instituição segundo a Metodologia ISO 14046:2017.
- d) Comparar os resultados obtidos nas duas metodologias e verificar a acurácia no suporte à futuras decisões sobre a expansão de cursos ou instalações.

2 CAPÍTULO 1 - PEGADA HÍDRICA: UM COMPARATIVO ENTRE DUAS METODOLOGIAS.

Resumo: A crise hídrica tem se tornado uma preocupação no mundo, com isso, diversas comunidades têm desenvolvido métodos mais eficientes para investigar a sustentabilidade no uso da água. Um indicador que vem ganhando espaço é a Pegada Hídrica, o método é proposto por duas comunidades distintas, a Water Footprint Network (WFN) e a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Ambas são eficientes como indicadores na gestão de recursos hídricos, mas diferem na maneira como alcançam e comunicam os resultados. A WFN se concentra no volume de água consumido, é mais eficiente na tomada de consciência sobre a quantidade de água apropriada pelo homem e menos complexa para aplicação. Já a ISO 14046:2017 é mais eficiente na demonstração dos potenciais impactos e riscos relacionados ao uso dos recursos hídricos, mas é complexa e necessita de maiores conjuntos de dados para aplicação como vazão do rio e a demanda humana categorizada (industrial, agrícola etc.) em m²/mês e a demanda ambiental mensal.

Palavras-chave: Gestão de recursos hídricos. Impacto ambiental. Indicador de uso da água.

Abstract: The water crisis has become a concern in the world. As a result, several communities have developed more efficient methods to measure sustainability in the use of water. An indicator that is gaining ground is the Water Footprint, the method is proposed by two different communities, the Water Footprint Network (WFN) and the Life Cycle Assessment (LCA). Both are efficient as indicators in the management of water resources, but differ in the way they achieve and communicate the results. WFN focuses on the volume of water consumed, is more efficient in raising awareness about the amount of water appropriate for man and less complex for application. ISO 14046: 2017 is more efficient in demonstrating the potential impacts and risks related to the use of water resources but it is complex and requires larger data sets for application such as river flow and categorized human demand (industrial, agricultural, etc.) in m² / month and monthly environmental demand.

Key words: Water resource management. Environmental impact. Water use indicator.

2.1 INTRODUÇÃO

A água é fundamental para a existência da vida na terra. Seus múltiplos usos como dessedentação, higiene, alimentação, abastecimento doméstico e industrial, recreação e lazer, geração de energia, navegação, diluição de despejos, preservação da fauna e da flora... devem estar em harmonia para a manutenção e o equilíbrio do planeta (MARTINS, 2014; TUNDISI e TUNDISI, 2011; CASARIN e SANTOS, 2011; MARENGO, 2008).

As águas sempre influenciaram a vida de nações inteiras. As primeiras civilizações se situavam nos arredores dos grandes rios ou nas encostas dos mares, pois a água sempre foi considerada como sinal de fertilidade, purificação e representava para várias culturas um elemento de grande força. Os sumérios (5.000–4.000 a.C.) associavam a água como sendo a principal das divindades. Entre os egípcios (2.000 a.C.) se mantinham registros sobre a importância da conservação da água e os perigos decorrentes de sua degradação. Os gregos (Platão 427-347 a.C.) já disciplinavam o uso da água por considerar a sua importância para a manutenção da vida e das plantações¹ (PINTO-COELHO e HAVENS, 2016; CASARIN e SANTOS, 2011).

A água no planeta se movimenta através do ciclo hidrológico, o vapor d'água forma nuvens que se acumulam e precipitam. Parte da água precipitada percola e abastece as águas subterrâneas, parte escoar pela superfície e se junta aos rios que desaguam no mar e outra parte é evaporada ou interceptada pelas plantas que posteriormente passará pelo processo de evapotranspiração que retornará a atmosfera (TUNDISI e TUNDISI, 2011; PINTO *et al.*, 1976).

Apesar do nosso planeta possuir dois terços da superfície cobertos por água, apenas 2,5% é constituído de água doce, sendo que apenas 0,3% se encontra em rios e lagos. Além disso, essa pequena porcentagem de água disponível tem uma distribuição desigual no planeta.

O aumento do uso da água na agricultura, na indústria e o crescimento populacional têm aumentado a pressão sobre os recursos naturais causando conflitos em muitas regiões (TUNDISI e TUNDISI, 2011). Segundo Mauad e Lima (2003) diante do crescimento no uso e a limitação da disponibilidade da água, são necessárias medidas urgentes de gestão dos recursos hídricos na busca da sustentabilidade do uso deste recurso.

¹ “se um homem estraga a água de outro homem, seja água da fonte ou água da chuva estocada [...], o proprietário deverá se queixar [...] e fazer ele próprio a estimativa do prejuízo, e aquele culpado por ter estragado a água, além de reparar o prejuízo, será obrigado a limpar a fonte ou o reservatório.” (Platão, Leis, 845e *apud* CASARIN e SANTOS, 2011).

O Brasil, apesar de possuir cerca de 12% da água do planeta (o que traz uma certa comodidade em relação a outros territórios), possui a distribuição espacial e temporal de forma desigual. Exemplo disso é a concentração da disponibilidade hídrica na Amazônia o qual possui 5% da população do país e 78% da água superficial do Brasil. Já o Sudeste, que possui a maior concentração populacional contém apenas 6% da disponibilidade hídrica do país (ISA, 2014). Segundo a Agência Nacional de Águas - ANA (2018), esses fatores, somados ao crescente uso da água pelas diferentes atividades econômicas geram áreas de conflito.

Em 2014 a região sudeste, principalmente o estado de São Paulo, enfrentou umas das piores secas já registradas. A falta de chuva, a demanda crescente e a má gestão dos recursos hídricos acarretaram a escassez dos reservatórios e severa restrição no abastecimento de água para o consumo (SORIANO *et al.*, 2016).

Nesse contexto, um dos instrumentos que vem adquirindo atenção na academia e no setor privado é a pegada hídrica. A metodologia surgiu como uma abordagem importante para avaliar os impactos relacionados ao uso da água. Os métodos de avaliação são propostos por duas comunidades diferentes, a *Water Footprint Network* (WFN) e a comunidade de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Os métodos são similares e abrangem o cálculo do uso da água e seus impactos, mas diferem na comunicação do resultado (PFISTER, 2017).

Neste estudo serão apresentadas as duas metodologias de forma detalhada, com propósito de identificar os pontos fortes e fracos e suas aplicabilidades no gerenciamento dos recursos hídricos.

2.2 REVISÃO DE LITERATURA

2.2.1 Pegada hídrica segundo a *Water Footprint Network* (WFN) – uma linha do tempo

Na década de 1990, o Professor John Anthony Allan² realizou um levantamento da eficiência econômica do uso da água na produção de alimentos nos países do Oriente Médio e no Norte da África. O autor identificou que os produtos que demandavam alto consumo de água tinham retorno econômico insignificante em regiões semiáridas, como no Oriente Médio e Norte da África. Allan calculou que a cada 1 m³ de água gasto na agricultura nos Estados Unidos, por exemplo, traria um retorno econômico médio de US\$ 11,50, já em países do semiárido o mesmo m³ teria em média um retorno econômico de US\$ 0,21. Para o autor, os

² John Anthony Allan, também referenciado como Tony Allan em algumas publicações, é geógrafo britânico, professor da Universidade de Londres. Recebeu o Prêmio da Água de Estocolmo em 2008 por seu conceito de água virtual.

países com déficit hídrico deveriam alocar esse recurso em atividades com maior retorno econômico e importar os alimentos ou produtos que demandassem de muita água para suprir suas necessidades internas (ALLAN, 1992).

Posteriormente, Allan (1996) apresentou o conceito de ‘água virtual’ como o volume de água incorporada em *commodities* (p. ex. arroz e trigo), que podem ser produzidos com mais eficiência em locais sem deficiência hídrica e comercializados para países que apresentam problemas, como o Oriente Médio. Esse conceito foi apresentado como uma solução parcial para os problemas de escassez no Oriente Médio e Norte da África (ALLAN, 1998; 1996; 1992; HADDADIN, 2003).

Em 2002, utilizando a abordagem de água virtual de Allan (1996), o professor Arjen Y. Hoekstra, enquanto trabalhava no Instituto de Educação da Água da Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura (UNESCO-IHE), criou um indicador para medir a sustentabilidade do uso global da água, assim como a pressão que a apropriação desse recurso pelo homem exerce no planeta. O indicador foi apresentado a fim de orientar políticas globais mais eficientes para alocação do uso da água. O indicador permite visualizar o uso indireto da água embutida nos produtos e pode ajudar a entender o caráter global da água e a quantificar os efeitos do consumo e do comércio no uso dos recursos hídricos. O entendimento aprimorado pode formar uma base para um melhor gerenciamento dos recursos de água do mundo (HOEKSTRA, 2008).

Hoekstra e Hung (2002) quantificaram o volume de todos os fluxos comerciais de ‘água virtual’ entre as nações no período 1995-1999 e comparou os ‘balanços virtuais’ de comércio hídrico dos países com as necessidades nacionais de água e sua disponibilidade. Com isso, eles puderam verificar a autossuficiência e a dependência hídrica de cada país (HOEKSTRA e HUNG, 2002). Dessa forma, o termo 'pegada hídrica' foi apresentado pela primeira vez pelos autores³, em analogia à 'pegada ecológica', o qual representa a área total de terra necessária para sustentar uma determinada região. Semelhantemente, a ‘pegada hídrica’ representa a água necessária para manter uma determinada população, sendo a soma do uso doméstico de água e da importação líquida de água virtual, proposta como “uma medida da apropriação real de uma nação dos recursos hídricos globais” (HOEKSTRA e HUNG, 2002, p.07).

O interesse pela metodologia cresceu rapidamente e em 2007, várias empresas começaram a se preocupar com sua dependência de água e do risco que enfrentam em relação

³ O termo foi apresentado no relatório da série *Value of Water Research* da UNESCO-IHE (2002).

ao seu uso. Em 2008, Hoekstra, juntamente com empresas, entidades da sociedade civil, de organizações multilaterais e acadêmicas, fundou a Water Footprint Network (WFN) com o objetivo de demonstrar como a avaliação da pegada hídrica pode ajudar a superar os desafios do uso insustentável da água (WFN, 2019).

Ao longo dos anos a metodologia foi sendo aperfeiçoada e Hoekstra e coautores divulgaram vários trabalhos calculando a pegada hídrica de indivíduos, produtos e nações (MEKONNEN e FULTON, 2018; ZHUO *et al.*, 2016; PAHLOW *et al.*, 2015; MEKONNEN *et al.*, 2014; CHOUCANE *et al.*, 2013; HOEKSTRA e MEKMONNEN, 2012; OEL e HOEKSTRA, 2010; CHAPAGAIN e ORR, 2009; HOEKSTRA e CHAPAGAIN, 2008; CHAPAGAIN e HOEKSTRA, 2008; 2007; CHAPAGAIN *et al.*, 2005; 2006; CHAPAGAIN e HOEKSTRA, 2004).

2.2.2 Pegada hídrica segundo a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) – uma linha do tempo

Já a avaliação do ciclo de vida (ACV) teve início na década de 1960 com a preocupação das limitações de energia e dos recursos naturais, pois havia a necessidade de encontrar maneiras de contabilizar e projetar o uso desses recursos de forma eficiente. A primeira publicação referente à ACV foi apresentada em 1963 na Conferência Mundial da Energia por Harold Smith, ele expôs seu cálculo dos requisitos cumulativos de energia para a produção de intermediários químicos⁴ e produtos. Posteriormente, em 1969 a empresa Coca-Cola realizou um estudo para comparar o desempenho ambiental das embalagens para o acondicionamento de seus produtos. Neste estudo foram desenvolvidas as bases para os métodos atuais da AICV nos Estados Unidos. Em sequência (década de 70), a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) reformulou o método instituindo uma abordagem denominada REPA (*Resource and Environmental Profile Analysis*) - Análise de recursos e perfis ambientais. Já na Europa, o método foi denominado ECOBALANCE por volta da década de 80 (CIAMBRONE, 2018; MARZULLO e MATAI, 2012; CURRAN, 2006).

A metodologia foi se desenvolvendo e os métodos precisavam ser padronizados. Em 1991, a preocupação com o uso inadequado da ACV por empresas resultou em uma declaração emitida por onze procuradores gerais do Estado nos Estados Unidos da América (EUA), denunciando o uso dos resultados da ACV para promover produtos ‘ambientalmente corretos’ de maneira enganosa. Essa ação, juntamente com a pressão de outras organizações

⁴ Em química diz-se que uma substância é um intermediário quando em um processo de síntese, ela é produzida como etapa intermediária da obtenção de outra substância.

ambientais para padronizar a metodologia da ACV, levou ao desenvolvimento dos padrões da ACV na série 14000 da Organização Internacional para Padronização (ISO) (CURRAN, 2006).

Desde então, a ACV na série 14000 passou a ser cada vez mais utilizada como uma ferramenta para suporte à decisão de gestão ambiental no mundo. Nesse cenário, o *United Nations Environment Programme (UNEP)*⁵ e a *Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC)*⁶ lançaram em 2002 uma parceria internacional do ciclo de vida, conhecida como Iniciativa do Ciclo de Vida (ICV) com o objetivo de colocar em prática o pensamento do ciclo de vida e melhorar as ferramentas de suporte como dados e indicadores (CURRAN, 2006; LANDU e BRENT, 2006).

A iniciativa contou com três programas: 1) Gerenciamento do Ciclo de Vida (LCM) - produção de materiais de informação, realização de fóruns e oferta de treinamento em todas as partes do mundo, a fim de aprimorar as habilidades dos tomadores de decisão; 2) Inventário do Ciclo de Vida (LCI) – oferta de acesso global a dados do ciclo de vida, e; 3) Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (LCIA) – melhoria na qualidade e disponibilidade de indicadores do ciclo de vida (CURRAN, 2006; LANDU e BRENT, 2006)⁷.

Apesar de ser um indicador de gestão ambiental, a ACV era limitada em relação ao uso da água. Os dados do Inventário do Ciclo de Vida continham apenas informações sobre o volume de água captado para os sistemas de produção, com informações limitadas sobre sua origem e nenhuma informação sobre seu destino. Eram ignoradas as consequências ambientais significativas da diminuição da qualidade e disponibilidade da água (KOUNINA *et al.*, 2013; BAYART *et al.*, 2010; KOEHLER, 2008; LANDU e BRENT, 2006; RALUY *et al.*, 2005).

Nesse âmbito, em 2007 foi criado um grupo de pesquisa pelo UNEP/SETAC sob a iniciativa do ciclo de vida, compreendendo pesquisadores de diferentes instituições acadêmicas internacionais e profissionais representando várias indústrias com o objetivo de desenvolver um método integrativo, alinhado com a estrutura da Avaliação de Impacto do

⁵ *United Nations Environment Programme (UNEP)*: O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) é a principal autoridade ambiental global que determina a agenda internacional no tema, promove a implementação coerente da dimensão ambiental do desenvolvimento sustentável no Sistema das Nações Unidas e serve como autoridade defensora do meio ambiente no mundo (UNEP, 2020).

⁶ *Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC)*: A Sociedade de Toxicologia e Química Ambiental é uma organização profissional global sem fins lucrativos com 6.000 membros e instituições dedicados ao estudo, à análise e à resolução de problemas ambientais, à gestão e regulação dos recursos naturais, à pesquisa e ao desenvolvimento e à educação ambiental (SETAC, 2020).

⁷ Vários métodos no âmbito da ACV já foram desenvolvidos e estão sendo aprimorados para minimizar o grau de incerteza. Uma lista dos principais métodos pode ser consultada no APÊNDICE III deste trabalho.

Ciclo de Vida (AICV) de ponto médio (*midpoint*) e final (*endpoint*) para a avaliação do uso de água (KOEHLER, 2008; KOEHLER e AOUSTIN, 2008).

O grupo de trabalho denominado *Water Use Life Cycle Assessment – WULCA* se empenhou então no desenvolvimento de métodos relacionados à avaliação dos impactos associados ao uso consuntivo da água. Concomitantemente, outros grupos trabalharam em impactos referentes a degradação do uso da água, como o USEtox⁸, e são usados para complementar os métodos de avaliação de impacto no uso da água (WULCA, 2020). Recentemente o grupo de trabalho WULCA obteve o consenso sobre o método que calcula o índice de escassez hídrica para uso da água (BOULAY *et al.*, 2015; NÚÑEZ *et al.* 2016; BOULAY *et al.*, 2018; BOULAY e LENOIR, 2020).

Os trabalhos realizados pelas equipes da ACV culminaram na publicação da Norma ISO 14046:2014⁹ baseada em uma avaliação do ciclo de vida de acordo com a ISO 14044:2009. A Pegada Hídrica, segundo a ISO, pode ser realizada como uma avaliação única relacionada à água, ou pode fazer parte de uma avaliação do ciclo de vida incluindo outras pegadas, como a de carbono. O termo ‘pegada hídrica’ somente pode ser utilizado se a avaliação for abrangente, ou seja, abordar os impactos relacionados ao uso consuntivo e degradativo da água, p. ex. pegada de escassez hídrica, pegada de eutrofização hídrica, pegada de ecotoxicidade hídrica etc. (ABNT, 2017).

A abordagem de Análise do Ciclo de Vida com base na ISO 14046:2014/2017 é aplicada na produção de produtos (MARZULLO, 2014; SEMMENS, BRAS e GULDBERG, 2014; MANZARDO *et al.*, 2016; RIDOUTT e HODGES, 2017; KISS, DINATO e FERNANDES, 2018; YANG *et al.*, 2019; USVA *et al.*, 2019), serviços (BOULAY *et al.*, 2015; VALLEJO, 2015; BADRUZZAMAN *et al.*, 2017), na agricultura (MUNGKUNG *et al.*, 2019) e com foco na dieta e saúde dos consumidores (RIDOUTT, HENDRIE e NOAKES, 2017; RIDOUTT *et al.*, 2019).

2.2.3 Levantamento bibliográfico

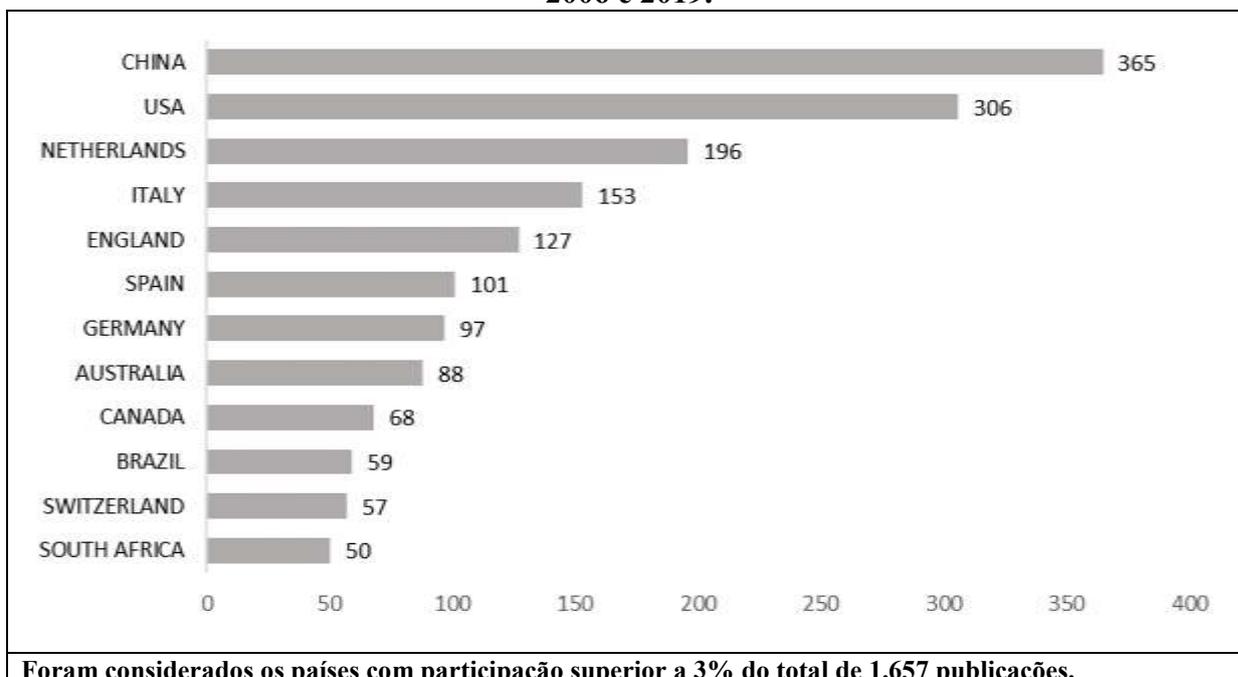
No Brasil, a literatura sobre pegada hídrica em ambas abordagens ainda é exígua (PIRES *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2013). Um levantamento na base de dados da coleção principal da *web of Science*, com o tópico “water footprint”, resultaram em 1.657 trabalhos

⁸ A equipe do USEtox é uma organização sem fins lucrativos com o objetivo de fornecer uma justificativa científica e técnica para a avaliação comparativa de produtos químicos com base em seus impactos na saúde humana e nos ecossistemas, assim como o WULCA, também foi instituída no âmbito da UNEP/SETAC.

⁹ A norma ISO 14046:2014 foi traduzida para o português pela Associação Brasileira de Normas Técnicas em 2017 (ABNT NBR ISO 14046:2017).

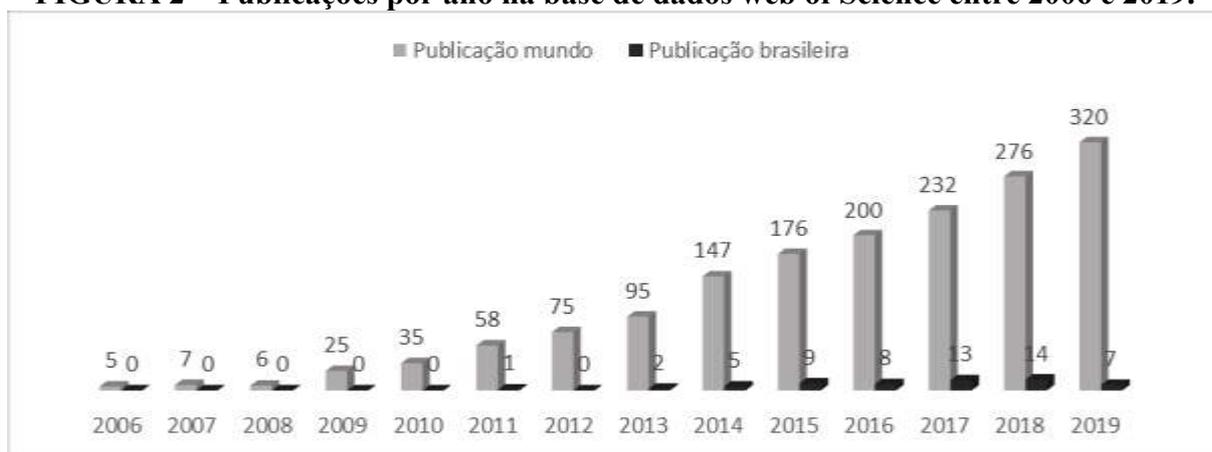
publicados entre 2006 e 2019. Desses, apenas 59 eram trabalhos brasileiros (Fig.01). As publicações nacionais iniciaram em 2011, com aumento gradativo no decorrer dos anos e uma queda em 2019, conforme demonstrado na Figura 02.

FIGURA 1 - Numero de publicações por países na base de dados *Web of Science* entre 2006 e 2019.



Fonte: Elaboração própria, 2020.

FIGURA 2 – Publicações por ano na base de dados web of Science entre 2006 e 2019.



Fonte: Elaboração própria, 2020.

Os três países com maior participação em publicações, abordando o tópico da pegada hídrica são: China, Estados Unidos e Holanda respectivamente, conforme demonstrado na Figura 1. Já os periódicos que mais ocorreram publicações foram: *Journal of Cleaner Production* (192 artigos), seguido pelo *Science of the Total Environment* (87 artigos) e

Sustainability (77 artigos). A predominância das publicações tem foco na abordagem WFN, sendo os principais autores o Professor Hoekstra, A. Y. com 107 publicações, Mekonnen, M. M. com 36 e Pfister, S. com 26.

No Brasil, as publicações estão concentradas em avaliações das pegadas hídricas agrícolas e de criação de animais (34 artigos), de energia e biocombustível (15 artigos) e gestão de recursos hídricos e produtos industriais (10 publicações). No Quadro 1 estão relacionadas as publicações brasileiras encontradas na coleção principal da *Web of Science*, divididas por área (agrícolas e de criação de animais; energia e biocombustíveis; gestão hídrica e produtos industriais).

QUADRO 1 – Produções brasileiras sobre o tema da pegada hídrica na base de dados da *Web of Science* de 2006 a 2019.

Abordagem	WFN	ISO 14046/ACV
<p>Pegadas Hídricas (PH) agrícolas e de criação de animais.</p>	<p>Agostinho e Pereira (2013): cálculo da carga ambiental na produção de cana de açúcar;</p> <p>Lathuilliere <i>et al.</i> (2014): produção de soja no Mato Grosso;</p> <p>Paraíba <i>et al.</i> (2014); Vale <i>et al.</i> (2019): uso do inseticida/agrotóxico agrícola na produção de cana de açúcar;</p> <p>Palhares (2014): criação de suínos;</p> <p>Da Silva <i>et al.</i> (2015); Scarpate <i>et al.</i> (2016a); Scarpate <i>et al.</i> (2016b); Barbosa <i>et al.</i> (2017); Bordonal <i>et al.</i> (2018): produção de cana de açúcar;</p> <p>Palhares e Pezzopane (2015): sistema de produção orgânica e convencional;</p> <p>Abbate (2015): impacto ambiental na produção e distribuição de alimentos;</p> <p>Moreira e Barros (2015); Strasburg e Jahno (2017); Hatjiathanassiadou <i>et al.</i> (2019): PH da dieta de consumidores;</p> <p>Kotsuka e Bleninger (2015); Ayala <i>et al.</i> (2016): Produção de soja e óleo de soja.</p> <p>Da Silva <i>et al.</i> (2016); Godar <i>et al.</i> (2016); Allegretti <i>et al.</i> (2018); Saez <i>et al.</i> (2019): Commodities agrícolas;</p> <p>Abreu <i>et al.</i> (2016): Produção de leite orgânico.</p> <p>Palhares, Morelli e Costa (2017): criação de bovinos em confinamento.</p> <p>Tedeschi <i>et al.</i> (2017): nutrição animal;</p> <p>Abrahamo, Carvalho e Causape (2017): produção de milho e trigo;</p> <p>Wojcikiewicz <i>et al.</i> (2017): produção de camarão;</p> <p>Martins <i>et al.</i> (2018): produção de café;</p> <p>Pereira <i>et al.</i> (2018): pastagem e produções agrícolas para alimentação bovina.</p> <p>Martins <i>et al.</i> (2018); Lathuilliere <i>et al.</i> (2018): indicadores de sustentabilidade na produção agrícola.</p> <p>Lathuilliere <i>et al.</i> (2019): criação bovina no sul da Amazônia.</p>	<p>Figueiredo <i>et al.</i> (2014): Produção de melão;</p> <p>Carneiro <i>et al.</i> (2019): produção de manga</p>

PH na produção de energia e de biocombustíveis.	Yeh, <i>et al.</i> (2011): produção de bioenergia; Hernandes, Bufon e Seabra (2014); Fachinelli e Pereira (2015); Chico <i>et al.</i> (2015); Castilho <i>et al.</i> (2017); Mekonnen <i>et al.</i> (2018); Rodriguez <i>et al.</i> (2018); Tayt'Sohn, Nunes e Pereira (2018): produção de biocombustível; Rocha, Anjos e Andrade (2015); Bueno, Mello e Alves (2016); Coelho <i>et al.</i> (2017); Coelho <i>et al.</i> (2018): produção de energia elétrica; Depra <i>et al.</i> (2018): produção de bioenergia;	Agostinho <i>et al.</i> (2015); Altamirano <i>et al.</i> (2016); Sousa <i>et al.</i> (2017): produção de biocombustível.
PH na gestão de recursos hídricos e produtos industriais.	Costa e Neto (2017); Visentin e Guilhoto (2019): gestão de recursos hídricos; Da Silva <i>et al.</i> (2017): integração de indicadores ambientais; Taffarello <i>et al.</i> (2018): modelagem de cenários da qualidade da água em cabeceiras de rios brasileiros. Bichueti <i>et al.</i> (2018): indústria de mineração;	Leao <i>et al.</i> (2017): Produção industrial de nanocristal de celulose do bagaço da cana de açúcar; Mack-Vergara e John (2017): produção de cimento; Marzullo <i>et al.</i> (2018): pegada de ecotoxicidade hídrica; Voss <i>et al.</i> 2019: produção de placa de microzona de papel.

Fonte: Elaboração própria, 2020.

Como era de se esperar as publicações referente à ISO 14046 iniciaram em 2014, data em que a norma foi publicada. Contudo, representa uma pequena participação se considerada a abordagem WFN no decorrer dos anos, conforme evidencia a Figura 3. Em 2018 ocorreu o maior número de publicações brasileiras no tema, entretando, a participação da abordagem da ACV representou 5% do total.

FIGURA 3 – Produção brasileira na abordagem WFN e ACV/ISO14046 na base de dados Web of Science de 2006 a 2019.



Fonte: Elaboração própria, 2020.

2.3 AS METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DE PEGADA HÍDRICA

Como dito anteriormente, os métodos de avaliação são propostos por duas comunidades diferentes, a *Water Footprint Network* (WFN) e a comunidade de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Dessa forma a seção 2.3.1 apresentará a abordagem da comunidade WFN e a seção 2.3.2 apresentará a abordagem segundo a comunidade ACV.

2.3.1 Avaliação da pegada hídrica segundo a WFN

Para os autores da pegada hídrica, mostrar o uso oculto da água nos produtos ou serviços, pode ajudar no entendimento da forma em que a água está sendo utilizada globalmente e assim quantificar os efeitos do consumo e do comércio na utilização dos recursos hídricos e formar a base para elaboração de novas estratégias de gestão (HOEKSTRA *et al.*, 2011; HOEKSTRA e CHAPAGAIN, 2008; HOEKSTRA, 2008). A quantificação do uso indireto da água pode influenciar decisões de consumo da população e tornar os estilos de vida mais sustentáveis.

A pegada hídrica da WFN é um indicador que considera a apropriação do uso da água pelo homem de forma direta e indireta e quantifica-o. Pode ser subdividida em três partes, pegada hídrica azul, pegada hídrica verde e pegada hídrica cinza. A pegada hídrica azul refere-se ao consumo de água superficial e/ou subterrânea captada que evapora, retorna a outra bacia ou ao mar, ou é incorporada no produto, ou seja, é o uso consuntivo, que é

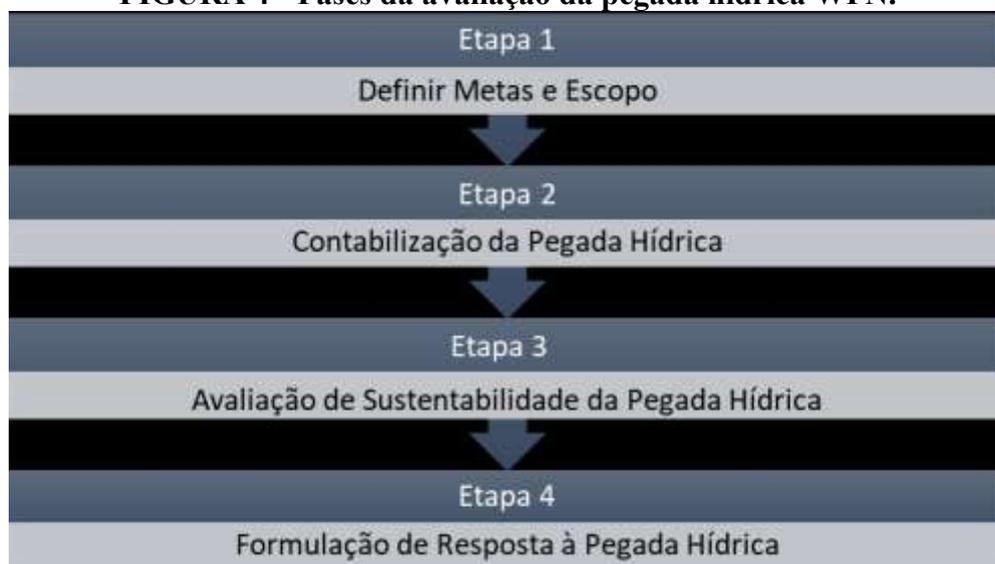
efetivamente ‘consumido’. A pegada hídrica verde refere-se ao consumo de água de chuva que fica no solo temporariamente, desconsiderando a água que escoar ou percola. A pegada hídrica cinza refere-se à poluição da água durante o processo e é definida como o volume de água necessário para diluir a carga de poluentes, a partir de concentrações naturais e dos padrões de qualidade da água existentes (HOEKSTRA *et al.*, 2011).

De acordo com os autores, a pegada hídrica se difere da medida tradicional pois considera o uso consuntivo, ou seja, a água que retorna à bacia não é contabilizada. Já a metodologia tradicional se concentra na água captada; pode ser considerada a água verde e cinza para o cálculo, que é ignorada nos cálculos tradicionais, e; não se restringe ao uso direto, mas considera também o uso indireto da água, fornecendo informações espacial e temporalmente de como o homem se apropria desse recurso para diversos propósitos.

Os autores salientam que a pegada hídrica pode promover a discussão sobre o uso e a alocação sustentável da água, além de formar base para avaliação de impactos ambientais, sociais e econômicos (HOEKSTRA *et al.*, 2011).

Hoekstra e coautores (2011) divide a avaliação completa da pegada hídrica em quatro etapas, conforme figura abaixo:

FIGURA 4 - Fases da avaliação da pegada hídrica WFN.



Fonte: Adaptado de Hoekstra *et al.*, 2011.

2.3.1.1 Etapa 1 (Definir Metas e Escopo)

O primeiro passo para avaliação da pegada hídrica segundo a metodologia da WFN, é a definição da meta e o escopo. O que incluir ou excluir da avaliação deve ser escolhido de acordo com a finalidade do levantamento. A avaliação pode ser aplicada em empresas, em comunidades, em bacias hidrográficas, em indivíduos etc. Pode ter a finalidade de identificar

um ponto crítico, a formulação de políticas públicas ou apenas a conscientização (HOEKSTRA *et al.*, 2011).

2.3.1.2 Etapa 2 (Contabilização da Pegada Hídrica)

A pegada hídrica expressa a apropriação da água pelo homem. A base para a contabilização são as etapas de cada processo, ou seja, a pegada hídrica de um produto é a soma de todos os processos relevantes¹⁰ na produção deste produto. A pegada hídrica de um indivíduo é a soma das pegadas hídricas dos produtos consumidos por esse indivíduo; a de uma comunidade é a soma das pegadas hídricas individuais dos membros da comunidade etc. (HOEKSTRA *et al.*, 2011).

2.3.1.3 Etapa 3 (Avaliação da Sustentabilidade da Pegada Hídrica)

A avaliação de sustentabilidade da pegada hídrica compara a pegada hídrica humana com a capacidade de suporte hídrico da terra, em analogia à pegada ecológica, que compara o uso da terra com o espaço biologicamente produtivo disponível. A sustentabilidade pode ser analisada nas dimensões sociais, ambientais e econômicas em relação às diferentes cores, ou seja, pegadas hídricas azul, verde e cinza (HOEKSTRA *et al.*, 2011).

No início do desenvolvimento da metodologia o foco principal estava no levantamento do volume de água apropriado pelo homem de forma direta e/ou indireta. Contudo, reconhecia-se a necessidade de comparar o uso consuntivo da água com a sua disponibilidade a fim de avaliar o impacto dessa apropriação. Desta maneira, Hoekstra (2008) explicitou essa necessidade de incluir a ‘avaliação de sustentabilidade’¹¹ após o cálculo. Desde então alguns trabalhos foram publicados como: Oel, Mekonnen e Hoekstra (2008) que realizaram a pegada hídrica externa da Holanda incluindo a avaliação do impacto que a importação da água virtual causa em vários países do mundo; Kampman, Hoekstra e Krol (2008) avaliaram o impacto de escassez hídrica na Índia; Chapagain e Orr (2008) que fizeram a avaliação do impacto ambiental local do uso da água na produção de tomate na Espanha e Hoekstra *et al.* (2012) que realizaram a pegada de escassez hídrica de 405 bacias no mundo com dados entre 1996 e 2005.

¹⁰ Os autores consideram relevantes processos que utilizem mais que 1% da água utilizada na produção.

¹¹ Na época os autores chamavam a avaliação da sustentabilidade de ‘avaliação de impacto’. Mas com o tempo os autores alteraram a terminologia por considerar que avaliar a sustentabilidade das pegadas hídricas vai além da observação dos seus possíveis impactos locais e imediatos.

2.3.1.3.1 Sustentabilidade Geográfica

A sustentabilidade geográfica deve ser analisada no contexto da bacia hidrográfica. Pode ser considerada sob a perspectiva ambiental, social e econômica. A Sustentabilidade ambiental depende dos padrões de qualidade definidos pelas entidades reguladoras. No caso do Brasil, os padrões de qualidade são regulamentados pela Resolução nº 357 de 17 de março de 2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), em que são definidos os padrões mínimo e máximo de lançamento de efluentes em relação aos usos atuais e futuros do corpo de água. Os fluxos dos rios e de água subterrânea também devem ser respeitados, comparados ao fluxo natural, para atendimento do ecossistema e das necessidades das comunidades que dependem desses recursos. Já a Sustentabilidade Social aborda a quantidade mínima de água para atender as necessidades básicas do ser humano. Para uso doméstico (beber, lavar e cozinhar) e para produção de alimentos. E a Sustentabilidade Econômica preconiza que o uso da água deve superar o custo total referente ao seu uso, abrangendo externalidades e custos de oportunidades (HOEKSTRA *et al.*, 2011).

Após identificar e quantificar os critérios de sustentabilidade, o próximo passo é identificar os pontos críticos, como os períodos do ano em que ocorre a escassez que possa comprometer a demanda humana e ambiental, ou alteração na qualidade da água afetando os usuários a jusante. Em um ponto crítico ocorrem problemas de escassez poluição ou conflitos pelo uso da água (HOEKSTRA *et al.*, 2011).

Posteriormente, são quantificados os impactos primários e secundários nos pontos críticos identificados. Os impactos primários são aqueles que afetam a quantidade e a qualidade da água em relação às condições naturais, sem intervenção humana. Temos como exemplo o consumo de uma cidade em épocas de seca, onde a vazão natural é violada. Os impactos secundários são os bens ou serviços ecológicos, sociais e econômicos que são afetados negativamente com o resultado dos impactos primários. Por exemplo, quando o consumo hídrico de uma cidade extrapola a vazão natural e afeta a demanda ambiental, pode ocorrer a redução da biodiversidade e/ou a extinção de espécies (HOEKSTRA *et al.*, 2011).

Um ponto crítico ambiental ocorre quando a escassez de água excede 100% da disponibilidade de uma bacia x em um determinado período t . Hoekstra e coautores (2011) desenvolveram uma fórmula para calcular o nível de escassez para cada cor de pegada hídrica (azul, verde e cinza) em uma determinada região a qual estão disponíveis no manual da pegada hídrica.

2.3.1.3.2 Impacto Primário e Secundário

Após identificar os pontos críticos e seus níveis de gravidade, é possível avaliar os impactos primários e secundários, casos estejam no escopo da avaliação. Os impactos primários mais importantes destacados pelos autores são: 1) o escoamento superficial e 2) os níveis d'água, que segundo Hoekstra *et al.* (2011) devem ser comparadas com linhas de base de quantidade e qualidade da água como as condições naturais da bacia em seu estado original, pois permite a visualização do impacto total causado pelo homem.

Já os impactos secundários são considerados, mas não limitados a: a) impactos secundários ambientais, que é a perda de biodiversidade ou abundância de certas espécies, perda de habitat; b) impactos secundários sociais, referente à saúde humana, emprego, bem-estar e segurança alimentar e; c) impactos secundários econômicos, como distribuição de renda nos diferentes setores da economia. No caso da redução das vazões ou da deterioração da qualidade da água, setores como pesca, turismo, hidrelétricas e navegação podem ser prejudicados (HOEKSTRA *et al.*, 2011).

2.3.1.3.2.1 Índices de Impactos Ambientais Locais

Para atender a demanda de um índice de impacto ambiental, os autores desenvolveram três índices referente a escassez e degradação hídrica, um para cada cor de pegada hídrica. O índice representa a pegada hídrica ponderada segundo o seu respectivo impacto nos lugares e períodos onde ocorrem os diversos componentes da pegada hídrica. As equações estão disponíveis em Hoekstra *et al.* (2011).

Para os autores, agregar os indicadores em um índice geral significa que a informação detalhada estará encoberta. “O que resulta é uma impressão superficial do impacto ambiental local de uma pegada hídrica” (HOEKSTRA *et al.*, 2011, p.91), e não tem utilidade na formulação de medidas de resposta específicas. Os autores apontam o cálculo volumétrico como melhor alternativa para avaliar a alocação sustentável da água.

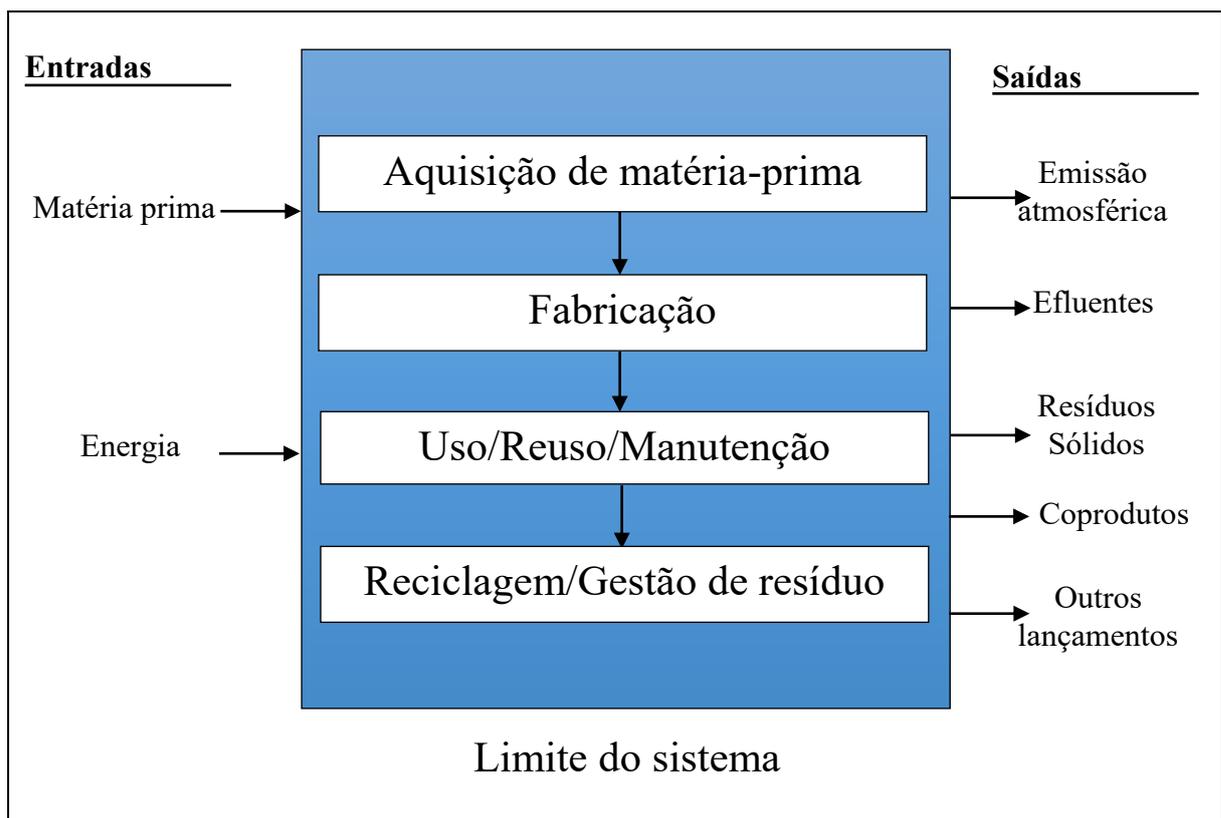
2.3.1.4 Etapa 4 (Formulação de Respostas à Pegada Hídrica)

A formulação de resposta da pegada hídrica depende do escopo da avaliação. Precisa ter clareza de quem será responsável, o que pode ser feito, por quanto tempo e qual o caminho. O manual não apresenta soluções, mas sugere algumas opções para redução da pegada hídrica o qual podem ser verificadas em Hoekstra *et al.* (2011).

2.3.2 Avaliação da pegada hídrica segundo a análise do ciclo de vida (ISO 14046)

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta para avaliar os possíveis impactos ambientais de um produto, processo ou atividade ao longo de seu ciclo de vida. Permite estimar os impactos ambientais cumulativos resultantes de todas as etapas do ciclo de vida do produto, os quais não eram considerados em análises tradicionais. Ao incluir os impactos ao longo do ciclo de vida, a ACV fornece uma visão abrangente dos aspectos ambientais e uma imagem mais precisa das compensações ambientais na seleção de produtos, processos ou serviços. A aplicação direta da ACV tem o objetivo de desenvolver melhoria de produtos, subsidiar o planejamento estratégico das organizações, a elaboração de políticas públicas e estratégias de marketing (ABNT, 2009; CURRAN, 2006; EPA, 1993). A figura 5 apresenta os estágios do ciclo de vida que podem ser considerados em uma ACV.

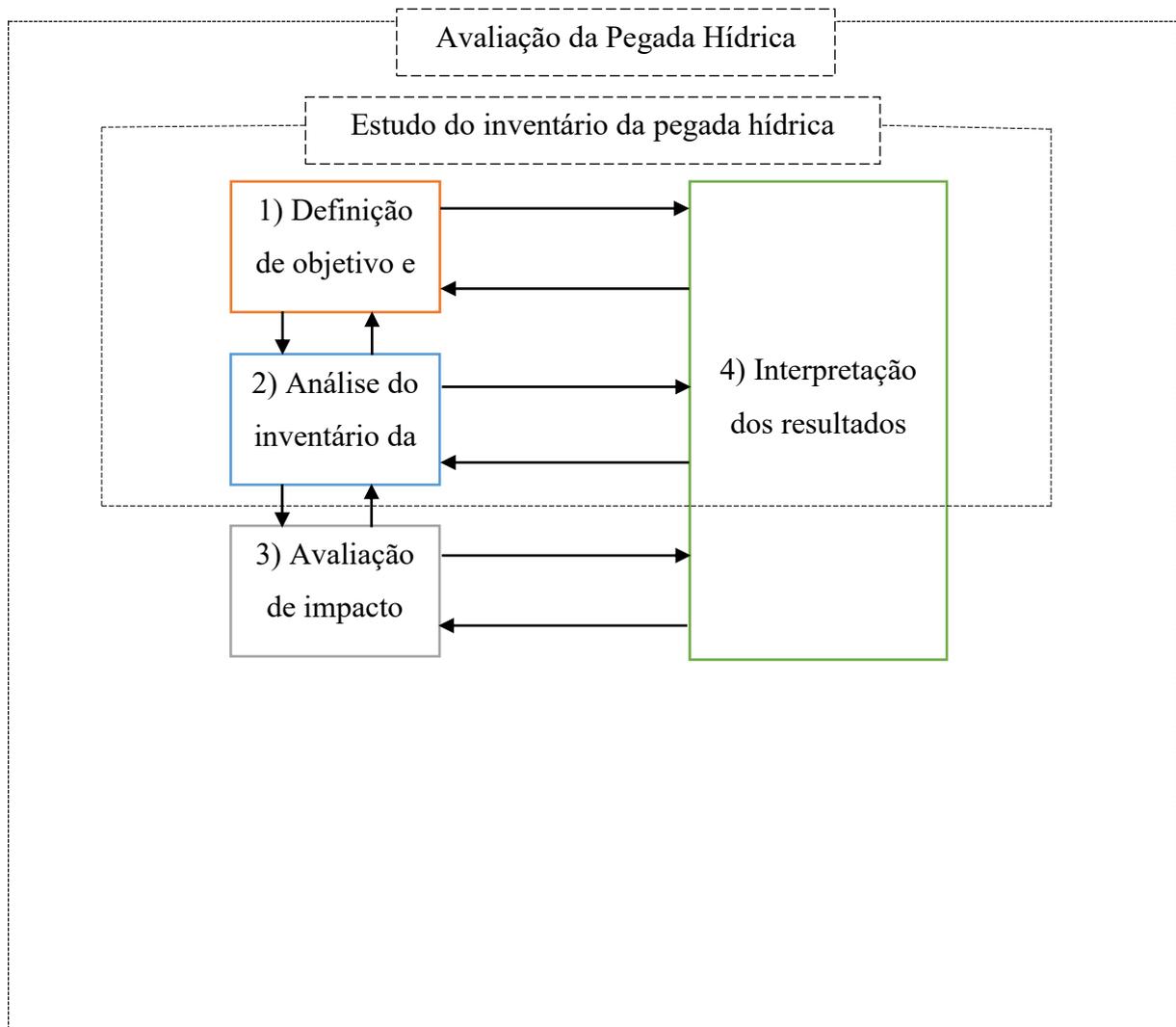
FIGURA 5 - estágios do ciclo de vida.



Fonte: EPA, 1993

A avaliação da pegada hídrica da ACV segue os procedimentos da ISO14044:2009, e se divide em quatro fases: 1) Definição de objetivo e escopo; 2) Análise do inventário da pegada hídrica; 3) Avaliação de impacto da pegada hídrica e; 4) Interpretação dos resultados (Fig. 6).

FIGURA 6 - Fases da avaliação da pegada hídrica na ACV.



Fonte: ABNT, 2017.

2.3.2.1 Fase 1 (Definição de Objetivo e Escopo)

Nessa primeira fase da análise, deve-se definir a aplicação que se pretende realizar, como por exemplo, identificar os processos que mais impactam o meio ambiente a fim de estabelecer políticas de gestão de ciclo de vida, a abrangência geográfica e o nível de resolução da pesquisa. Deve-se definir também o público-alvo para comunicação dos resultados (ABNT, 2017; UGAYA, 2013). A relação completa dos itens que devem ser abordados na definição do objetivo e escopo da avaliação da pegada hídrica conforme a ABNT NBR ISO 14046 e 14044 está relacionada no quadro 2.

QUADRO 2 - Definição de objetivo e escopo da avaliação da pegada hídrica
Definição de objetivo e escopo

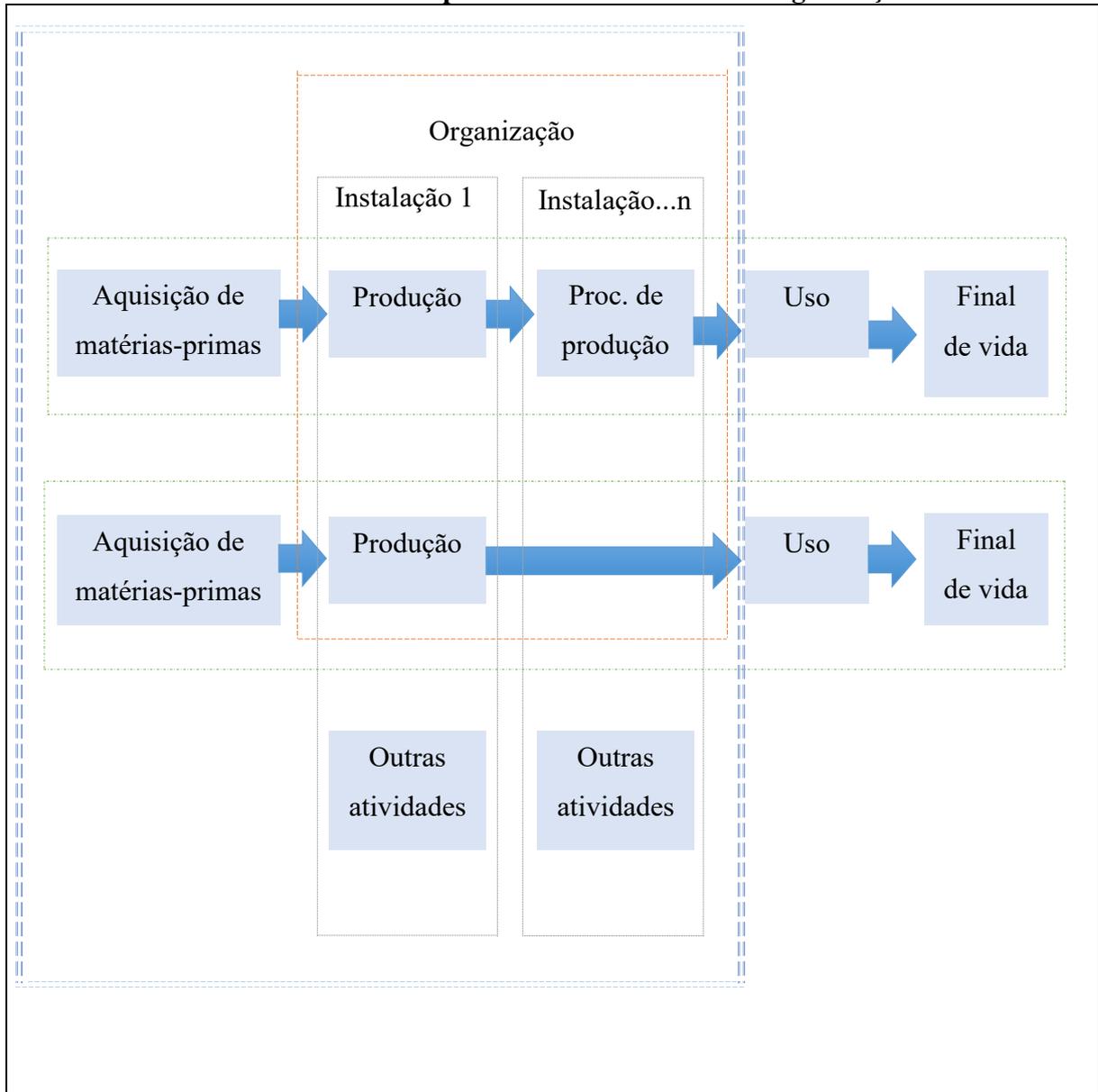
Definição de objetivo e escopo	
Objetivo	Aplicação pretendida (p. ex. identificar o processo que mais impacta o ambiente)
	Motivo para a realização do estudo (p. ex. estabelecer políticas de gestão do ciclo de vida)
	Público pretendido (comunicação dos resultados ao público interno ou externo)
	Se o estudo é uma avaliação única ou parte de uma ACV.
	Se parte da ACV, a intenção de utilizar os resultados em afirmações comparativas.
Escopo	Fronteira do sistema
	Unidade funcional
	Cobertura temporal, geográfica e resolução de estudo
	Dados e requisitos da qualidade dos dados
	Critérios de corte
	Procedimento de alocação (se tiver)
	Pressupostos e escolhas de valores
	Metodologia de avaliação de impacto e das categorias de impacto selecionadas.
	Indicador de impacto
	PH abrangente ou não
	Impactos ambientais potenciais excluídos
	Incertezas e limitações
	Justificativa para exclusões
	Condições comparáveis
	Tipo de relatório
Tipo de revisão crítica	

Fonte: ABNT, 2017

Se a definição do sistema for do “berço ao túmulo” é necessário que todas as fases sejam incluídas, inclusive se os produtos utilizarem água na fase do uso (p. ex. máquina de lavar, lava-louças etc.), ou possam gerar emissões que impactem a água durante a utilização (toxicidade aquática, eutrofização, acidificação ou poluição térmica). A norma recomenda que seja considerado o inventário direto e indireto das atividades associadas à organização, contudo, pode-se realizar um estudo do “berço ao portão”, o qual o estágio de uso e final de vida são excluídos, ou do “portão ao portão” onde os estágios de aquisição de matéria prima, uso e final não são analisados, desde que justificados na fase 1 (objetivo e escopo). A figura 7

exemplifica algumas fronteiras para o sistema de avaliação da pegada hídrica de uma organização (ABNT, 2017).

FIGURA 7 - Exemplos de fronteiras de uma organização.



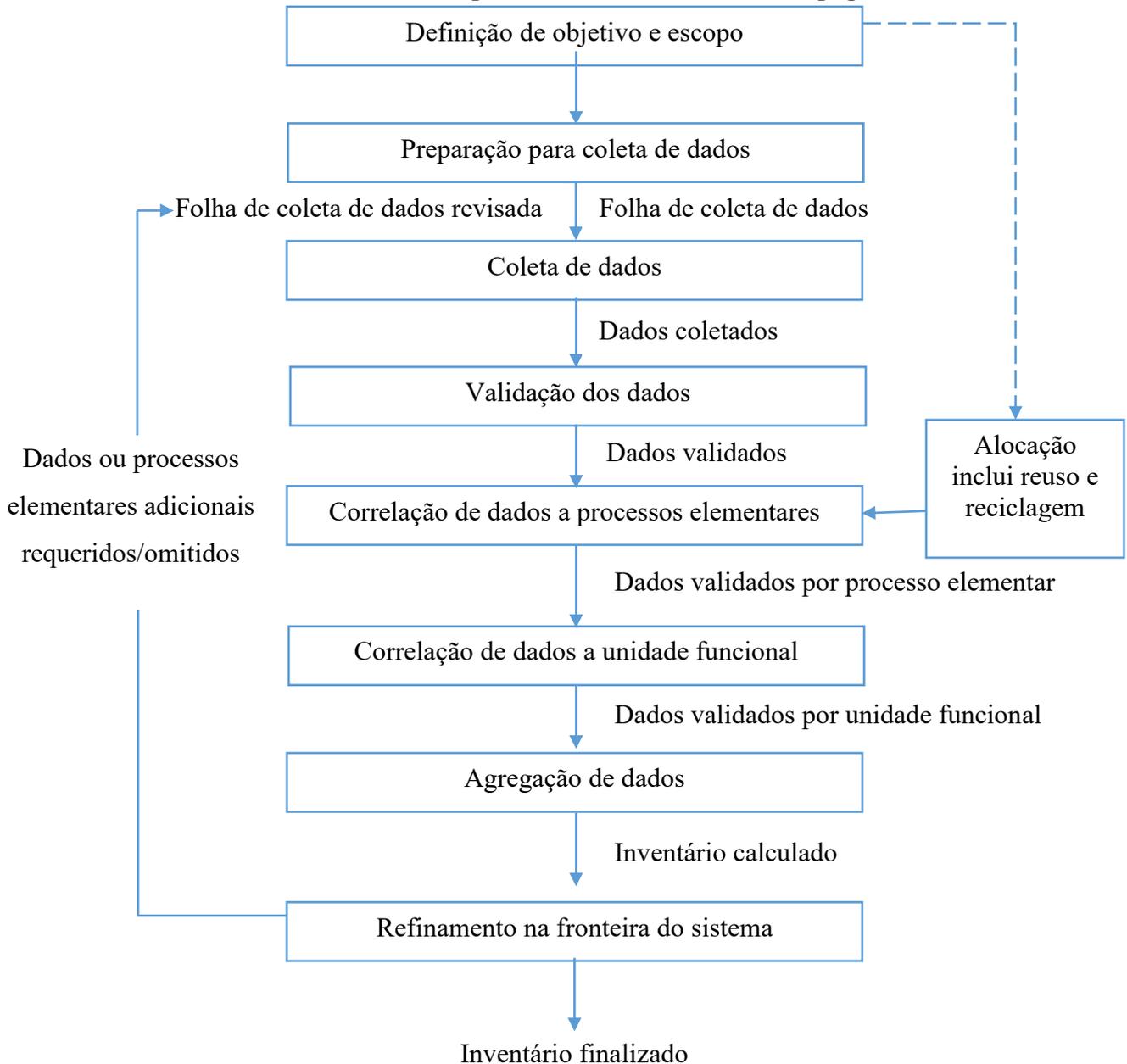
- Fronteiras para uma instalação
- - - - - Fronteiras do 'portão ao portão' para uma organização
- Fronteiras do ciclo de vida para um produto
- ==== Fronteiras do 'berço ao portão' para uma organização
- Fronteiras do ciclo de vida do 'berço ao túmulo de uma organização

Fonte: Adaptado de ABNT, 2017.

2.3.2.2 Fase 2 (Análise do Inventário da pegada)

A segunda fase da avaliação da pegada hídrica é a análise do inventário e segue os procedimentos da ABNT NBR ISO 14044:2009. Envolve a coleta de dados e procedimentos de cálculo para quantificar as entradas e saídas de um sistema de produto. Os passos estão representados na figura 8.

FIGURA 8 - Procedimento para análise do inventário da pegada hídrica.



Fonte: ABNT, 2017.

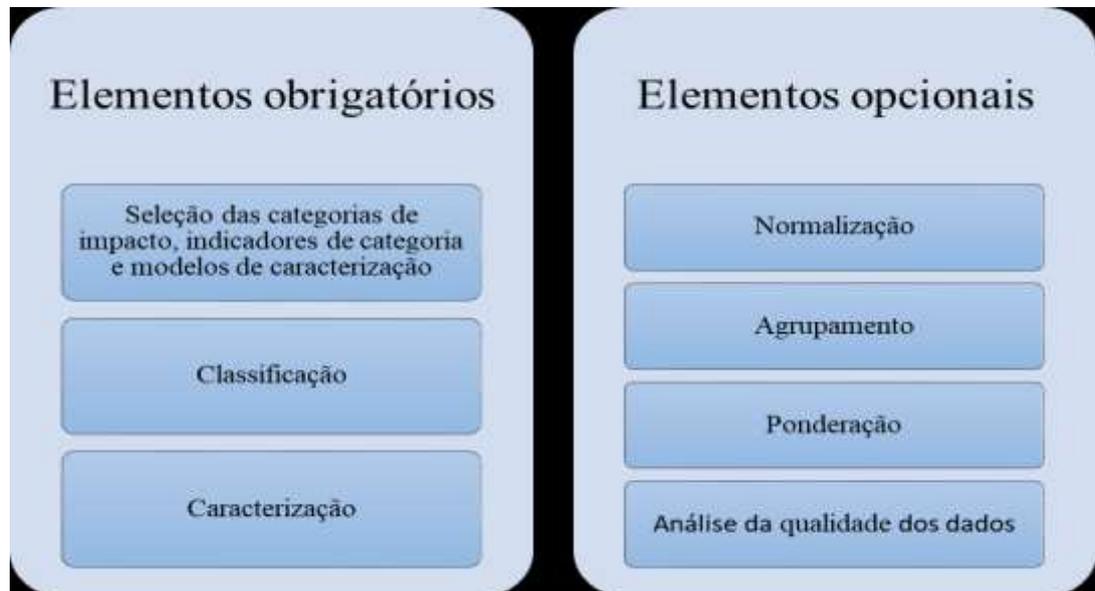
No caso da pegada hídrica, os dados relacionados com o uso da água devem ser descritos de forma detalhada, com informações sobre o volume de captação, fonte de captação (superficial, subterrânea etc.), tipo de uso (p. ex. evaporação ou integração em produtos),

características físicas, químicas e biológicas, localização geográfica da água utilizada ou afetada, aspectos temporais e se ocorrem emissões atmosféricas que possam impactar a qualidade da água (ABNT, 2017).

O objetivo da coleta de dados é assegurar a manutenção da confiabilidade dos dados. A norma recomenda que seja realizado o desenho de fluxogramas de cada processo; a descrição de cada processo com os dados categorizados; o desenvolvimento de uma lista com as unidades de medida utilizadas; a descrição da técnica utilizada na coleta de dados e de cálculo e; o fornecimento de instruções para documentação de casos especiais, irregularidades ou outros. A qualidade dos dados deve englobar a cobertura temporal, geográfica e tecnológica, a precisão, a completeza, a consistência, a representatividade e a reprodutibilidade dos dados, a fonte dos dados e as incertezas da informação (ABNT, 2009).

2.3.2.3 Fase 3 (Avaliação do Impacto da Pegada Hídrica)

A avaliação de impacto da pegada hídrica é a terceira fase da análise da pegada hídrica segundo a ACV, e também segue a norma ABNT NBR ISO 14044:2009. É a etapa “em que se mensura e avalia a significância dos impactos ambientais potenciais do sistema” (UGAYA, 2013, p.66). São considerados elementos obrigatórios da avaliação de impacto: a seleção das categorias de impacto, indicadores de categoria e modelos de caracterização; a classificação, que é a correlação dos resultados do inventário do ciclo de vida com as categorias de impacto selecionadas e por fim; a caracterização, que é o cálculo dos resultados dos indicadores de categoria. Os elementos opcionais são a normalização, o agrupamento, a ponderação e a análise da qualidade dos dados, conforme exemplificado na figura 9 (ABNT, 2009).

FIGURA 9 - Elementos obrigatórios e opcionais da AICV.

Fonte: ABNT, 2009.

2.3.2.3.1 Categorias de Impacto

A categoria de impacto pode ser de ponto médio (*midpoint*) ou ponto final (*endpoint*), e devem ser selecionados de acordo com o objetivo e escopo da avaliação e com base no resultado do inventário do ciclo de vida. A figura 10 exemplifica algumas categorias de impacto de pontos médio e final de uma análise completa do ciclo de vida com destaque para o uso da água.

FIGURA 10 - Exemplos de categoria de impacto *midpoint* e *endpoint*.

Inventário de Ciclo de Vida- ICV			Categorias de impacto	
			<i>Midpoint</i>	<i>Endpoint</i>
CO ₂	Ar	ADP ADP ADP Mar Solo	Mudança climática	Qualidade do ecossistema
CH ₄	Ar		Acidificação	
N ₂ O	Ar		Eutrofização	
NO	Ar		Destruição da camada de ozônio	Saúde humana
SO ₂	Ar			
PO ₄	Água		Ecotoxicidade	Uso de Recursos
H ₂ O	Ar			
NH ₃	Água		Escassez hídrica	...
Área	Solo			

ADP: Potencial de depleção de recursos abióticos

Fonte: Adaptado de UGAYA, 2013

2.3.2.3.2 Indicadores de Categoria

Os indicadores de categoria são as representações quantificáveis de uma categoria de impacto. No caso de uma avaliação da categoria de impacto escassez da pegada hídrica, o indicador de categoria é a contribuição em m³ de H₂O para a escassez de água. Recentemente Boulay e colaboradores (2015; 2018) desenvolveram o modelo AWaRe para calcular o indicador de escassez hídrica de acordo com a ISO 14046, sendo que este indicador representa a quantidade de água remanescente que ficará disponível após o atendimento da demanda de consumo humano e ambiental. Este indicador tem como base o pressuposto de que quanto menos água permanecer disponível por área, maior a probabilidade de outro usuário ser privado. A figura 11 exemplifica o indicador relacionado a categoria de impacto abordando a escassez hídrica (BOULAY *et al.*, 2018; ABNT, 2017; ABNT, 2009).

FIGURA 11 - Indicador de categoria de impacto ambiental escassez hídrica.

Categoria de impacto	Indicador de categoria	Fator de caracterização
• Escassez hídrica	• Disponibilidade de água remanescente	• Potencial de privação de água em m ³ eq.

Fonte: Elaboração própria com dados de BOULAY *et al.*, 2018; ABNT, 2017 e UNEP, 2016.

2.3.2.3.3 Modelos de Caracterização

O modelo de caracterização é a simulação matemática do mecanismo ambiental de determinada categoria de impacto que possibilita converter os resultados do ICV ao resultado do indicador de categoria. No caso da pegada de escassez hídrica, o modelo adotado atualmente para o estudo na ACV é o AWaRe. O modelo caracteriza o potencial de privação de água em m³ eq. Entretanto, outros modelos foram desenvolvidos até chegar no atual consenso. Uma lista dos principais modelos de caracterização para diversas categorias de impacto está disponível no APÊNDICE III deste trabalho.

2.3.2.3.4 Classificação

A classificação é um dos procedimentos obrigatórios da Análise do Inventário do Ciclo de Vida (AICV), e consiste na correlação do resultado do inventário do ciclo de vida e as categorias de impacto às quais eles contribuem potencialmente. No caso da pegada hídrica, pode ser relacionado à escassez hídrica, ecotoxicidade aquática, eutrofização ou acidificação aquática, poluição térmica ou toxicidade humana devida à poluição da água. A classificação vai depender das categorias de impacto selecionadas para o estudo em questão (ABNT, 2017).

2.3.2.3.5 Caracterização

A caracterização também é um procedimento obrigatório da AICV e é o cálculo dos resultados dos indicadores de categoria de impacto a partir dos valores dos aspectos ambientais classificados na categoria ambiental em questão. No caso da pegada hídrica, convém diferenciar os tipos de água, as fontes de captação (subterrânea, superficial etc.) e as questões geográficas e temporais. Nessa fase, cada escolha do métodos e fator de caracterização deve ser explicada e justificada (ABNT, 2017; SILVA *et al.*, 2015).

2.3.2.3.6 Normalização (opcional)

A normalização é um item opcional da análise da pegada hídrica, tem o objetivo de verificar se o impacto é alto ou baixo em relação a um valor de referência. Tem o objetivo de esclarecer a magnitude relativa para cada resultado de indicador do sistema em estudo. Pode ser útil para verificar inconsistências, e preparar procedimentos adicionais como agrupamento, ponderação ou interpretação do ciclo de vida (SILVA *et al.*, 2015; ABNT, 2009).

2.3.2.3.7 Agrupamento (opcional)

O agrupamento é a reunião de categorias de impacto em um ou mais conjuntos. Pode-se agrupar as categorias de impacto em uma base nominal como entrada, saída ou escalas espaciais globais, regionais ou locais, ou a hierarquização das categorias de impacto de acordo com a prioridade (alta, média ou baixa) (ABNT, 2009).

2.3.2.3.8 Ponderação (opcional)

A ponderação é a atribuição de pesos aos valores dos resultados dos indicadores de impacto normalizados, baseado em escolha de valores. Há dois procedimentos possíveis para a ponderação, o primeiro consiste em converter os resultados dos indicadores ou os resultados normalizados com base em fatores de ponderação selecionados e o segundo é agregar esses resultados entre as diferentes categorias de impacto (ABNT, 2009).

2.3.2.3.9 Análise da qualidade dos dados (opcional)

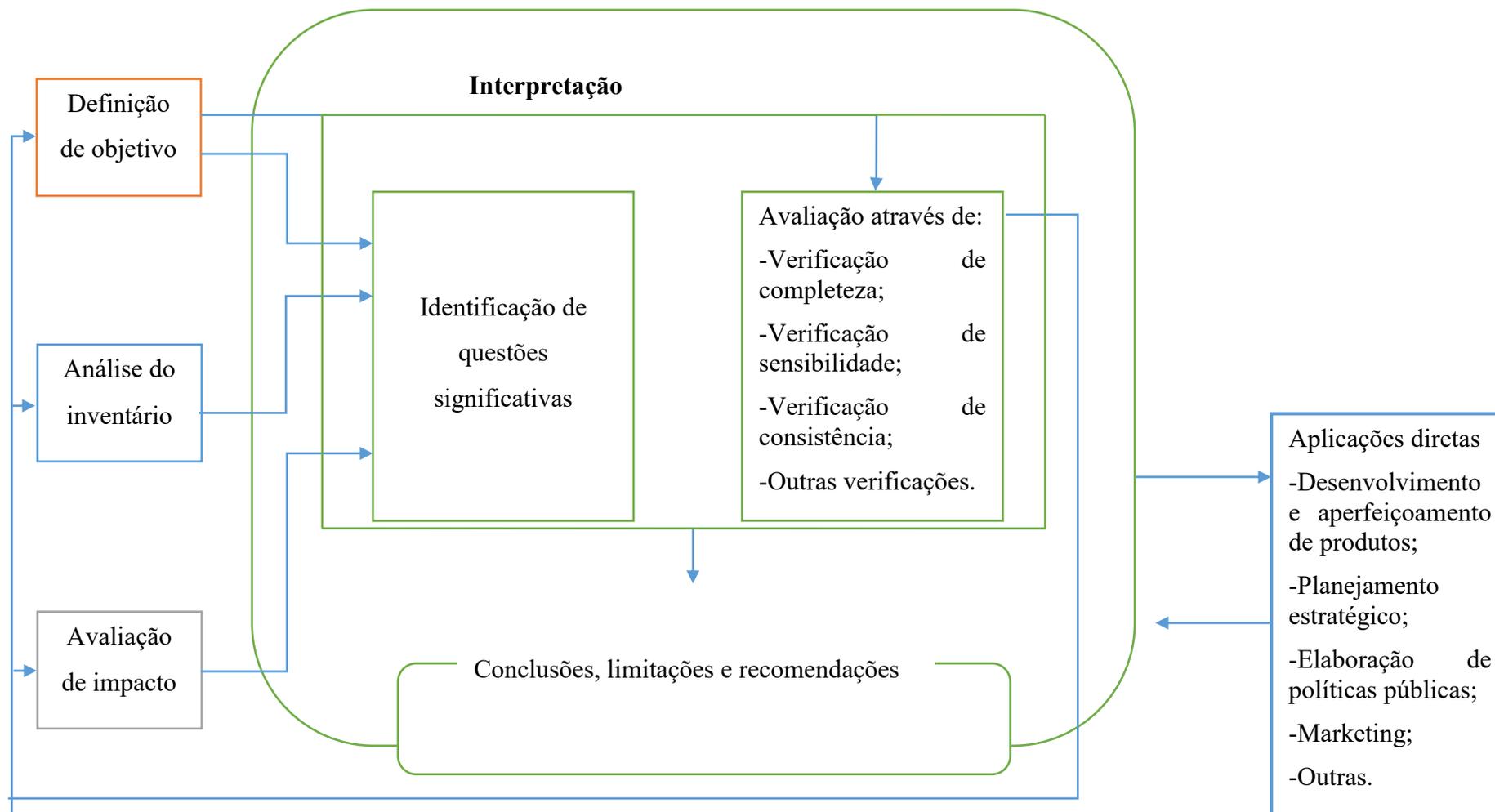
A análise da qualidade dos dados visa o melhor entendimento da confiabilidade do perfil da AICV. Ajuda a apontar a presença de diferenças significativas, a identificar resultados não significativos do inventário e orientar o processo iterativo da AICV. Algumas técnicas podem ajudar a análise da qualidade dos dados como a *matriz pedigree* descrita no Apêndice IV (ALTHAUS *et al.*, 2007; WEIDEMA e WESNAES, 1996), análise de contribuição (p. ex. análise de Pareto), análise de incerteza (p. ex. simulação de Monte Carlo) e análise de sensibilidade (mudança nos dados para verificar como os resultados são afetados) (ABNT, 2017; SILVA *et al.*, 2015).

2.3.2.4 Fase 4 (Interpretação do Ciclo de Vida)

A interpretação do ciclo de vida é a última fase na qual as constatações da análise de inventário e da avaliação de impacto são estudadas em relação ao objetivo e escopo definidos

anteriormente, com a finalidade de se chegar a conclusões e recomendações. Compreende a identificação das questões significativas com base nos resultados das fases de ICV e AICV da ACV; a avaliação do estudo com verificação de completeza, sensibilidade e consistência e; as conclusões, limitações e recomendações (ABNT, 2009). A figura abaixo representa o relacionamento dos elementos da fase de interpretação com as outras fases da ACV.

FIGURA 12 - Relacionamento dos elementos da fase de interpretação com as outras fases da ACV.



Fonte: ABNT, 2009.

2.3.2.4.1 Avaliação

A avaliação tem o objetivo de aumentar a confiabilidade dos resultados da ACV, deve ser verificada a completeza, a sensibilidade e a consistência. A completeza se resume em assegurar que todos os dados relevantes estão disponíveis e completos, caso contrário, deve-se reavaliar o objetivo e escopo. Entretanto, se as informações faltantes forem consideradas desnecessárias, deve-se justificar. A verificação de sensibilidade tem o objetivo de avaliar a confiabilidade dos resultados finais e conclusões, determinando de que forma são afetados por incertezas nos dados ou cálculo dos resultados dos indicadores. Já a verificação de consistência é o processo para verificar, antes de se consolidarem as conclusões do estudo, se os pressupostos, métodos e dados foram aplicados de forma consistente ao longo do estudo, e se estão de acordo com a definição do objetivo e escopo (SILVA *et al.*, 2015; ABNT, 2009).

2.3.2.4.2 As Conclusões, Limitações e Recomendação

Esta fase é a etapa final da avaliação e tem a finalidade de chegar a conclusões, identificar as limitações e fazer as recomendações para o público-alvo determinado na fase de objetivo e escopo. Deve-se esboçar as conclusões preliminares e verificar se estas estão consistentes em relação ao objetivo e escopo. Em caso positivo, deve-se registrá-la como conclusões finais e elaborar as recomendações e as limitações do estudo. Caso negativo, deve-se reavaliar o objetivo e escopo e seguir as etapas da avaliação novamente (ABNT, 2009).

2.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

2.4.1 Comparação entre as duas metodologias

As duas metodologias têm o objetivo de estudar o impacto do uso da água pelas ações antropogênicas e ajudar na preservação dos recursos hídricos. Contudo, a maneira como eles alcançam e comunicam os resultados são distintas (BOULAY, HOEKSTRA e VIONNET, 2013). Ambas dividem as fases da análise em quatro estágios, conforme representado no quadro 3.

QUADRO 3 - Estágios da pegada hídrica segundo WFN e ACV.

ESTÁGIOS	WFN	ACV
PREPARAÇÃO	Estabelecendo os objetivos e escopo	Objetivo e escopo do estudo
INVENTÁRIO	Contabilidade da pegada hídrica	Inventário do ciclo de vida
AVALIAÇÃO DE IMPACTO	Avaliação da sustentabilidade da pegada hídrica	Avaliação do impacto do ciclo de vida
RESULTADOS	Formulação de respostas	Interpretação

Fonte: Adaptado de BOULAY, HOEKSTRA e VIONNET, 2013.

Contudo, as duas metodologias diferem sobretudo no estágio do inventário e na avaliação de impacto. A ACV tem o esforço concentrado na análise do impacto (fase 3) e a WFN concentra seus esforços na fase 2, levantamento volumétrico do uso da água. A diferença mais importante entre as duas metodologias está no foco. O uso da água é apenas uma parte da ACV que tende a quantificar os possíveis impactos gerados por uma atividade humana em uma ampla gama de questões ambientais como, por exemplo, mudanças climáticas, impactos respiratórios humanos, uso da terra etc. sempre voltado à produção sustentável. A ACV é mais relevante na comparação do desempenho ambiental de produtos e análise de risco (PFISTER, 2017; AIVAZIDOU *et al.*, 2016; BOULAY, HOEKSTRA e VIONNET, 2013; EUROPEAN COMMISSION, 2010; KOEHLER, 2008).

Já a metodologia segundo a WFN tem o foco na gestão dos recursos hídricos e se concentra na análise da alocação e uso sustentável da água sob a perspectiva de a água ser um recurso limitado. A metodologia da WFN define a pegada hídrica como um indicador espacial e temporalmente explícito da apropriação de água. A fase “avaliação da sustentabilidade da pegada hídrica” concentra-se em uma análise multifacetada da sustentabilidade ambiental no uso e alocação de água. As pegadas hídricas são contextualizadas, por exemplo, comparando as pegadas hídricas de atividades ou produtos com as melhores práticas do setor e comparando o total da pegada hídrica com a disponibilidade de água nas bacias hidrográficas (BOULAY, HOEKSTRA e VIONNET, 2013).

2.4.2 Limitações

Uma das limitações da pegada hídrica da ISO 14046:2017 é que a norma não define os métodos de contabilização e categorias de impactos relacionados à água, e não contempla o uso da água verde (BOULAY *et al.*, 2018; BOULAY, HOEKSTRA e VIONNET, 2013). Outras limitações apontadas por Ugaya (2013) são: a utilização de critérios subjetivos para a análise e

escolha dos métodos, carência de métodos consolidados e quantidade elevada de dados (UGAYA, 2013). Pfister (2017) complementa que a fase da avaliação do impacto envolve muitas incertezas, principalmente nos de ponto final.

Já a WFN tem limitações enquanto a análise da degradação da água, pois superestima o uso da água contabilizando a ‘água que seria necessária’ para diluir poluentes, mas não analisa o potencial impacto ambiental que os poluentes podem causar no meio ambiente ou na saúde humana. Outro ponto importante é que os autores da WFN desencorajam a utilização de um fator de ponderação o que pode afetar o resultado final da análise como exemplificado no estudo realizado por Kiss, Dinato e Fernandes (2018), onde fizeram a avaliação da pegada de escassez hídrica em 26 empresas espalhadas pelo Brasil utilizando método AWaRe, o resultado da pesquisa evidenciou que as plantas que mais consumiam água (foco da WFN) não eram as que apresentavam o maior impacto de escassez hídrica, dessa forma a aplicação da ponderação tornou o estudo mais claro para a tomada de decisão e a hierarquização para a elaboração de um plano de gestão de recursos hídricos. Outro ponto apresentado pela WFN é o comércio virtual de água, os autores acreditam que, a alocação eficiente dos recursos hídricos em países sem problemas de escassez hídrica para exportação de *commodities* alimentares, é uma ação estratégica a fim de sanar as deficiências hídricas em países com pouca disponibilidade de água para produção de alimentos, o qual podem importar esses produtos. Entretanto, alguns economistas alertam para a implementação de estratégias políticas apenas com base no comércio virtual de água, pois pode causar decisões economicamente prejudiciais (WICHELNS, 2015). Por esse motivo alguns autores consideram inconsistente o conceito de comércio virtual de água como política pública (PFISTER, 2017; GAWEL e BERNSEN, 2013).

O resumo das principais limitações encontradas está descrito no quadro 4.

QUADRO 4 – Principais limitações encontradas para cada abordagem de pegada hídrica.

WFN	ISO 14046
Incertezas na Pegada Hídrica Cinza	Diversidade de métodos
Ausência de fator de ponderação	Subjetividade na escolha do método
Fragilidade do conceito de comércio virtual de água como política pública	Incertezas no ponto final
	Não engloba a água verde

2.5 CONCLUSÕES

Apesar das duas metodologias apresentarem subsídios consistentes, a escolha em adotar uma ou outra vai depender do objetivo da avaliação em que se quer realizar. A WFN foca no volume de água consumido, sendo mais eficiente na indicação da quantidade de água apropriada pelo homem e menos complexa para aplicação. Já a ISO 14046:2017 é mais eficiente na demonstração dos potenciais impactos e riscos relacionados ao uso dos recursos hídricos, mas é complexa e carece de maiores esforços para aplicação.

REFERÊNCIAS

- ABBADE, E. B. Environmental impacts of food supply and obesogenic severity worldwide. **British Food Journal**, v. 117, n.12, p. 2863-2879, 2015.
- ABRAHAO, R.; CARVALHO, M.; CAUSAPE, J. Carbon and water footprints of irrigated corn and non-irrigated wheat in Northeast Spain. **Environmental Science and Pollution Research**, v.24, n.6, p.5647-5653, 2017.
- ABREU, D. C. *et al.* Economic and environmental implications of wheat-crop sequences on organic dairy-farm simulations. **Crop & Pasture Science**. v.67, n.11, p.1127-1138, 2016.
- AGOSTINHO, F.; PEREIRA, L. Support area as an indicator of environmental load: Comparison between Embodied Energy, Ecological Footprint, and Emergy Accounting methods. **Ecological Indicators**. v.24, p.494-503, 2013.
- AGOSTINHO, F. *et al.* Influence of cellulase enzyme production on the energetic-environmental performance of lignocellulosic ethanol. **Ecological Modelling**. v.315, p. 46-56, 2015.
- ALLEGRETTI, G. *et al.* Environmental globalization: A Brazilian viewpoint on agribusiness and natural resources. **Journal of Agribusiness in Developing and Emerging Economies**. v. 8, n. 3, p.454-460, 2018.
- ALTAMIRANO, C. A. *et al.* A. Ethylic or methylic route to soybean biodiesel? Tracking environmental answers through life cycle assessment. **Applied Energy**. v.184, n. 8, p.1246-1263, 2016.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos 2013**. Agência Nacional de Águas – ANA, Brasília: 2013, p. 252. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/todos-os-documentos-do-portal/documentos-sre/manual-de-outorga.pdf>. Acesso em: 10 maio 2019
- _____. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018: informe anual**. Agência Nacional de Águas – ANA, Brasília: 2018, p. 72. Disponível em: https://cebds.org/aquasfera/conjuntura-dos-recursos-hidricos-no-brasil-informe-2018-agencia-nacional-de-aguas-ana/?gclid=EAIaIQobChMIpfrwiZzh6QIVjYaRCh0pTQcxEAAYASAAEgJ1CPD_BwE. Acesso em: 22 maio 2019.
- AIVAZIDOU, E. *et al.* The emerging role of water footprint in supply chain management: A critical literature synthesis and a hierarchical decision-making framework. **Journal of Cleaner Production**, v. 137, p. 1018-1037, Nov. 2016.
- ALLAN, T. Fortunately there are substitutes for water: otherwise our hydropolitical futures would be impossible. In: **ODA Priorities for water resources allocation and management**. London: Natural Resources and Engineering Advices Conference, v. 1, 1992. Cap. 2, p. 13-26.

ALLAN, J. A. Policy responses to the closure of water resources. In: HOWSAM, P.; CARTER, R. C. **Water Policy: allocation and management in practice**. London: E&FN SPON, v. 1, 1996. Cap. 1, p. 03-12.

ALLAN, J. A. Virtual water: a strategic resource global solutions to regional deficits. **Ground Water**, London, v. 36, n. 4, p. 545-546, Jul. 1998.

ALTHAUS, H. *et al.* Ecoinvent **Report N° 1: Overview and Methodology**. Swiss Centre for Life Cycle Inventories. Dübendorf, p. 1-77. 2007. Rolf Frischknecht, Niels Jungbluth (Editors).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR ISO 14044:2009**. Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - requisitos e orientações, Rio de Janeiro, 21 maio 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR ISO 14046: 2017**. Gestão ambiental - Pegada Hídrica - Princípios, requisitos e diretrizes. 1ª ed. Rio de Janeiro, 2017.

AYALA, L. M. *et al.* Impact of agricultural expansion on water footprint in the Amazon under climate change scenarios. **Science of the Total Environment**. v.569, n. 1159-1173, 2016.

BADRUZZAMAN, M. *et al.* Value Propositions of the Water Footprint Concept for Sustainable Water Utilities. **Journal - American Water Works Association**, 109 (9), setembro 2017. E393-E408.

BAI, X. *et al.* A comparative study of a full value-chain water footprint assessment using two international standards at a large-scale hog farm in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 176, p. 557-565, 2018.

BARBOSA, E. A. A. *et al.* Water footprint of sugarcane irrigated with treated sewage and freshwater under subsurface drip irrigation, in Southeast Brazil. **Journal of Cleaner Production**. v. 153, n. 1, p. 448-456, 2017.

BAYART, J. B. *et al.* A framework for assessing off-stream freshwater use in LCA. **Int J Life Cycle Assess**, p.439-453, 31 Mar. 2010.

BICHUETI, R. S. *et al.* Water Use Management in the Mining Industry: A Comparison Based on Company Size. **Journal of Environmental Accounting and Management**. v.6, n.2, p. 135-147, 2018.

BORDONAL, R. D. *et al.* Sustainability of sugarcane production in Brazil. A review. **Agronomy for Sustainable Development**. V.38, n.2 (13), 2018.

BOULAY, A. M.; LENOIR, L. Sub-national regionalisation of the AWARE indicator for water scarcity footprint calculations. **Ecological Indicators**. v. 111, abr. 2020.

BOULAY, A. M. *et al.* The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints: assessing impacts of water consumption based on available water remaining (AWARE). **Int J Life Cycle Assess**, 23, p.368-378, 2018.

BOULAY, A. M. *et al.*. Consensus building on the development of a stress-based indicator for lca-based impact assessment of water consumption: Outcome of the expert workshops. **The International Journal of Life Cycle Assessment**:1-7, 2015.

BOULAY, A. M.; HOEKSTRA, A. Y.; VIONNET, S. Complementarities of Water-Focused Life Cycle Assessment and Water Footprint Assessment. *Environ. Sci. Technol.*, v. 11927, n. 47, p. 11926, 2013.

BUENO, E. D.; DE MELLO, C. R.; ALVES, G. J. Evaporation from Camargos hydropower plant reservoir: water footprint characterization. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v.21. n.3, 2016.

CASARIN, F.; SANTOS, M. **Água: o ouro azul usos e abusos dos recursos hídricos**. Coleção desafios do século XXI. ed. Rio de Janeiro: Garamond, v. 1, 2011.

CARNEIRO, J. M. *et al.* Carbon and water footprints of Brazilian mango produced in the semiarid region. **International Journal of Life Cycle Assessment**. v.24, n.4, p.735-752, 2019.

CASTILLO, R. M. *et al.* Uncovering the Green, Blue, and Grey Water Footprint and Virtual Water of Biofuel Production in Brazil: A Nexus Perspective. **Sustainability**. v. 9, n.11, 2017.

CHAPAGAIN, A. K. *et al.* The water footprint of cotton consumption: an assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. **Ecological Economics**, p.186-203, 2006.

CHAPAGAIN, A. K.; HOEKSTRA, A. Y. **Water footprints of nations**. Value of Water Research Report Series n°16. UNESCO-IHE. DELFT. 2004.

CHAPAGAIN, A. K.; HOEKSTRA, A. Y. The water footprint of coffee and tea consumption in the Netherlands. **Ecological Economics**, p. 109-118, 2007.

CHAPAGAIN, A. K.; HOEKSTRA, A. Y. The global component of freshwater demand and supply: an assessment of virtual water flows between nations as a result of trade in agricultural and industry. **Water International**, v. 33, n. 1, p. 19-32, 2008.

CHAPAGAIN, A. K.; ORR, S. **UK Water Footprint: The Impact of the UK's Food and Fibre Consumption on Global Water Resources**. WWF-UK. Godalming. 2008.

CHAPAGAIN, A. K.; ORR, S. An improved water footprint methodology linking global consumption to local water resource: a case study of Spanish tomatoes. **Journal of Environmental Management**. p.1219-1228, 2009.

CHICO, D.; SANTIAGO, A. D.; GARRIDO, A. Increasing efficiency in ethanol production: Water footprint and economic productivity of sugarcane ethanol under nine different water regimes in north-eastern Brazil. **Spanish Journal of Agricultural Research**. v. 13, n. 2, 2015.

CHOUCHANE, H.; HOEKSTRA, A. Y.; KROL, M. S.; MEKONNEN, M. M.. **Water footprint of Tunisia from an economic perspective**. Value of Water Research Report Series No. 61, UNESCO-IHE. Delph. 2013.

CIAMBRONE, D. F. **Environmental Life Cycle Analysis**. [S.l.]: CRC Press, 2018. 160 p.

COELHO, C. D. *et al.* Comparison of the water footprint of two hydropower plants in the Tocantins River Basin of Brazil. **Journal of Cleaner Production**. v.153, n.1, p.164-175, 2017.

COELHO, C. D. *et al.* Estimates of monthly and annual evaporation rates and evaporated volumes per unit time in the tucurui-pa and lajeado-to hydroelectric power plant reservoirs based on different methods. **Engenharia Agrícola**. v.38, n.3, p. 38-46, 2018.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. Estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e outros. **Diário Oficial da União**: nº 053, de 18/03/2005, p. 58-63. Disponível em: file:///C:/Users/manoe/Downloads/ResolucaoCONAMA_357-05.pdf. Acesso em: 02 abr. 2019.

COSTA, L.; NETO, J. A. Proposal for a water resource management strategy model using the water footprint concept. **Brazilian Journal of Operations & Production Management**. v.14, n.3, p.371-380, 2017.

CURRAN, M. A. LIFE CYCLE ASSESSMENT: PRINCIPLES AND PRACTICE. **Scientific Applications International Corporation (SAIC)**, Ohio, Mai. 2006. Disponível em: <<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P1000L86.PDF?Dockey=P1000L86.PDF>>. Acesso em: 22 Jan. 2020.

DA SILVA, V. D. R. *et al.* A measure of environmental sustainability: Water footprint. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.17(2), n.1, p.100-105, 2013.

_____. Measurements and modelling of water footprint of sugarcane cultivated in Paraíba State. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.19, n.6, p.521-526, 2015.

_____. Water Footprint and Virtual Water Trade of Brazil. **Water**. v.8, n.11, 2016.

_____. Integrated Environmental Footprint Index (IEFI): model development and validation. **Engenharia Agrícola**. v.37, n.5, p.918-927, 2017.

DE FIGUEIREDO, M. C. B. *et al.* Reducing the impact of irrigated crops on freshwater availability: the case of Brazilian yellow melons. **International Journal of Life Cycle Assessment**. v.19, n.2, p.437-448, 2014.

DEPRA, M. C. *et al.* Microalgal Biorefineries for Bioenergy Production: Can We Move from Concept to Industrial Reality? **Bioenergy Research**. v.11, n.4, p.727-747, 2018.

EPA. (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY). **Life-Cicle Assessment: Inventory Guidelines and Principles**. United States Environmental Protection Agency. [S.l.]. 1993.

EUROPEAN COMMISSION. **International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook**. General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance. First edition March 2010. Tradução de Luiz Marcos Vasconcelos. Primeira. ed. Luxembourg: Joint Research Centre, 2010.

FACHINELLI, N. P.; PEREIRA, A. O. Impacts of sugarcane ethanol production in the Paranaíba basin water resources. **Biomass & Bioenergy**. v.83(9), p.8-16, 2015.

GAWEL, E.; BERNSEN, K. What is Wrong with Virtual Water Trading? On the Limitations of the Virtual Water Concept. **Environment and Planning C: Politics and Space**, v.3, n.1, 01 jan. 2013.

GIACOMIN, G. S.; OHNUMA JR., A. A. Estimativa da pegada hídrica de um grupo de alunos de uma instituição de ensino superior. **Revista Internacional de Ciências**, v. 7, n. 1, p. 49-63, jan-jun 2017.

GODAR, J. *et al.* Balancing detail and scale in assessing transparency to improve the governance of agricultural commodity supply chains. **Environmental Research Letters**. v. 11, n.3, 2016.

HADDADIN, M. J. Exogenous water: A conduit to globalization of water resources. In: HOEKSTRA, A. Y. **Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade**. Value of Water Research Report Series n°. 12. 12. ed. Delft: UNESCO-IHE, v. 1, 2003. Cap. 11, p. 160-169.

HARDING, K.; MOFOMATE, B. F.; SELOTA, T. R. **Water footprint of a mixed use laboratory/office building at the University of the Witwatersrand**. Johannesburg. Industrial and Mining Water Research Unit, Witwatersrand, 2016.

HATJIATHANASSIADOU, M. *et al.* Environmental Impacts of University Restaurant Menus: A Case Study in Brazil. **Sustainability**. v.11, n.19, 2019.

HERNANDES, T. A. D.; BUFON, V. B.; SEABRA, J. E. A. Water footprint of biofuels in Brazil: assessing regional differences. **Biofuels Bioproducts & Biorefining-BIOFPR**. v.8, n.2, p.241-252, 2014.

HERRERA, M. V. S. *et al.* Estimation of virtual water use in Brazilian exports from 2003 to 2014. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**. v. 24(7), n.6, p. 1229-1238, 2019.

HOEKSTRA, A. Y.; HUNG, P. Q. **Value of Water**. Relatório n° 11. IHE DELFT. Holanda, p. 120. 2002.

HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K. **Globalization of water: sharing the planet's freshwater resources**. 2. ed. Oxford: Blackwell Publishing, v. 1, 2008.

HOEKSTRA, A. Y. **Water neutral: Reducing and offsetting the impacts of water footprints**. Value of Water Research Report Series n° 28, UNESCO-IHE. Delft, Netherlands. 2008.

HOEKSTRA, A. Y. *et al.* **Manual de Avaliação da Pegada Hídrica: estabelecendo um padrão global.** Tradução pelo Instituto de Conservação Ambiental The Nature Conservancy do Brasil em parceria com a Water Footprint Network. São Paulo: Water Footprint Network, 2011.

HOEKSTRA, A. Y.; MEKONNEN, M. M.; CHAPAGAIN A. K.; MATHEWS. R. E.; RICHTER. B. D. Global Monthly Water Scarcity: Blue Water Footprints versus Blue Water Availability. **Plos One**, EUA, v. 7, n. 2, p. 1-10, 2012.

HOEKSTRA, A. Y.; MEKONNEN, M. M. The water footprint of humanity. **PNAS**, Oakland, v. 109, n. 9, p. 3232-3237, fev. 2012.

HOEKSTRA, A. Y.; MEKONNEN, M. M.; CHAPAGAIN A. K.; MATHEWS. R. E.; RICHTER. B. D.. Global Monthly Water Scarcity: Blue Water Footprints versus Blue Water Availability. **Plos One**, EUA, v. 7, n. 2, p. 1-10, 2012.

ISA. (INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL). **Água doce e limpa: de “dádiva” à raridade.** Almanaque Brasil Socioambiental, 2014.

KAMPMAN, D. A.; HOEKSTRA, A. Y.; KROL, M. S. **The water footprint of India.** Value of Water Research Report Series nº 32. UNESCO-IHE. Delft, Netherland. 2008.

KANDANANOND, K. The energy related water footprint accounting of a public organization: the case of a public university in Thailand. **Energy Procedia**, Nagoya, v. 156, p. 149-153, 2019.

KISS, B. C. K.; DINATO, R.; FERNANDES, M. Pegada hídrica: uso do método AWaRe na gestão empresarial de recursos hídricos. **VI Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida**, Brasília, Junho 2018. p.136-141.

KOEHLER, A. Water use in LCA: managing the planet's freshwater resources. **Int J Life Cycle Assess**, Zurich, v. 13, p. 451-455, 2008.

KOEHLER, A.; AUSTIN, E. **Life Cycle Initiative SETAC.** Project group on assessment of use and depletion of water resources within LCA, 2008. Disponível em: <<http://www.wulca-waterlca.org/pdf/wulca.pdf>>. Acesso em: 20 janeiro 2020.

KOTSUKA, L.; BLENINGER, T. Evaluation of the concepts of virtual water and water footprint in water resources management: a case study of soybean and soybean oil. **Proceedings of the 36th IAHR World Congress: Deltas of the future and what happens upstream.** p.5896-5904, 2015.

KOUNINA, A. *et al.* Review of methods addressing freshwater use in life cycle inventory and impact assessment. **Int. J. Life Cycle Assess.**, p.707-721, 2013.

LANDU, L.; BRENT, A. C. Environmental life cycle assessment of water supply in South Africa: The Rosslyn industrial area as a case study. **Water SA**, 32(2), p.249-256. Abr. 2006. Disponível em: <<https://www.ajol.info/index.php/wsa/article/view/5250>>. Acesso em: 21 janeiro 2020.

LATHUILLIERE, M. J. *et al.* Environmental footprints show China and Europe's evolving resource appropriation for soybean production in Mato Grosso, Brazil. **Environmental Research Letters**. v.9(6), n. 7, 2014.

_____. Evaluating Water Use for Agricultural Intensification in Southern Amazonia Using the Water Footprint Sustainability Assessment. **Water**. V.10, n.4, 2018.

_____. Cattle production in Southern Amazonia: implications for land and water management. **Environmental Research Letters**. v. 14, n.11, 2019.

LEAO, R. M. *et al.* Environmental and technical feasibility of cellulose nanocrystal manufacturing from sugarcane bagasse. **Carbohydrate Polymers**. v.175(13), 2017.

MACK-VERGARA, Y. L.; JOHN, V. M. Life cycle water inventory in concrete production-A review. **Resources Conservation and Recycling**. v.122, p.227-250, 2017.

MANZARDO, A. *et al.* Lessons learned from the application of different water footprint approaches to compare different food packaging alternatives. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, 2016. p. 4657-4666.

MARENGO, J. A. Água e mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 83-96, jan-abr 2008.

MARTÍNEZ-ARCE, A. *et al.* Water Footprint (ISO 14046) in Latin America, State of the Art and Recommendations for Assessment and Communication. **Invironments**, Basel, p.1-16, 2018.

MARTINS, A. L. P. *et al.* Scientific prospection on sustainability indexes used in agriculture. **Revista Geintec-Gestao Inovacao e Tecnologias**. v.8, n.2, p.4357-4368, 2018.

MARTINS, L. D. *et al.* Carbon and water footprints in Brazilian coffee plantations - the spatial and temporal distribution. **Emirates Journal of Food and Agriculture**. v. 30, n.6, p.482-487, 2018.

MARTINS, R. S. L. **Empresas e gestão da água: uma abordagem a partir do uso do indicador Pegada Hídrica**. (Tese de Doutorado) Universidade de São Paulo, 1, 2014. 178. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/106/106132/tde-18112014-182843/pt-br.php>. Acesso em: 07 ago. 2019.

MARZULLO, R. C. M. **Metodologia para o cálculo da pegada hídrica ecotoxicológica de produtos dentro de uma perspectiva de ACV com uso do GIS: Estudo Piloto para o Etanol Hidratado**. Repositório USP, 2014. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/106/106131/tde-20062016-151922/pt-br.php>. Acesso em: 20 novembro 2019.

MARZULLO, R. C. M.; MATAI, P. H. L. S. A pegada hídrica com abordagem de avaliação do ciclo de vida (ACV). In: EMPINOTTI, V.; JACOBI, P. R. (orgs.). **Pegada hídrica: inovação, corresponsabilização e os desafios de sua aplicação**. São Paulo: Annablume, 2012. p. 99-118.

MARZULLO, R. D. M.; MATAI, P. H. L. D.; MORITA, D. M. New method to calculate water ecotoxicity footprint of products: A contribution to the decision-making process toward sustainability. **Journal of Cleaner Production**. v.188, p.888-899, 2018.

MAUAD, F. F.; LIMA, G. Planejamento estratégico de sistemas hídricos. In: MARTINS, R. C.; VALENCIO, N. F. S. **Uso e gestão dos recursos hídricos no Brasil: desafios teóricos e político-institucionais**. São Carlos: RiMa, 2003. Cap. 7, p. 99-126.

MEKONNEN, M. M. *et al.* **Water Footprint Assessment for Latin America and the Caribbean: An analysis of the sustainability, efficiency and equitability of water consumption and pollution**. Value of Water Research Report Series n°. 66. UNESCO-IHE. DELFT. 2014.

_____. Water, Energy, and Carbon Footprints of Bioethanol from the US and Brazil. **Environmental Science & Technology**. v.52(14), n.24, p.14508-14518, 2018.

MEKONNEN, M. M.; FULTON, J. The effect of diet changes and food loss reduction in reducing the water footprint of an average American. **Water International**, v.43, n.6, p.860-870, 2018.

MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. J. Four billion people facing severe water scarcity. **Science Advances**. v. 2, n. 2, 2016. DOI: 10.1126/sciadv.1500323.

MIRANDA, J. B.; VASCONCELOS, A. M.; FERREIRA, D. D. M. Pegada Hídrica De Estudantes Universitários De Santa Catarina. **RG&SA**, Florianópolis, v. 6, n. 2, p. 227-239, jul-set 2017.

MOREIRA, R. S.; BARROS, S. D. S. PEGADA HÍDRICA DE CLASSES CONSUMIDORAS QUE COMPÕEM A ESCOLA ANTÔNIO LANDIM DE MACÊDO EM AURORA - CE. **Polêm!ca**, Maracanã, v. 15, n. 1, p. 18-27, abr-jun 2015.

MUNGKUNG, R. *et al.* Water footprint inventory database of Thai rice farming for water policy decisions and water scarcity footprint label. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, 2019. p.2128-2139.

NÚÑEZ, M., BOUCHARD, C. R.; BULLE, C.; BOULAY, A. M.; MARGNI, M. Critical analysis of life cycle impact assessment methods addressing consequences of freshwater use on ecosystems and recommendations for future method development. **The International Journal of Life Cycle Assessment**: 1-17, 2016.

OEL, P. R.; HOEKSTRA, A. Y. **The green and blue water footprint of paper products: methodological considerations and quantification**. UNESCO-IHE. Institute for Water Education. Delft, the Netherlands, p. 36. 2010.

OEL, P. R.; MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. **The external water footprint of the Netherlands: Quantification and impact assessment**. UNESCO-IHE. Delft, Netherlands. 2008.

PAHLOW, M.; KROL, M. S.; HOEKSTRA, A. Y. **Assessment of measures to reduce the water footprint of cotton farming in India**. Value of Water Research Report Series n°. 68. UNESCO-IHE. Delft, the Netherlands, p. 76. 2015.

- PALHARES, J. C. P. Water footprint of swines and the impact of nutritional strategies. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.18, n.5, p.533-538, 2014.
- PALHARES, J. C. P.; MORELLI, M.; COSTA, C. Impact of roughage-concentrate ratio on the water footprints of beef feedlots. **Agricultural Systems**. v.155, p.126-135, 2017.
- PALHARES, J. C. P.; PEZZOPANE, J. R. M. Water footprint accounting and scarcity indicators of conventional and organic dairy production systems. **Journal of Cleaner Production**. v.93, p.299-307, 2015.
- PARAIBA, L. C. *et al.* A mathematical model to estimate the volume of grey water of pesticide mixtures. **Spanish Journal of Agricultural Research**. v. 12, n.2, p.509-518, 2014.
- PATRÍCIO, M. C. M. *et al.* Comparação da pegada hídrica entre classes consumidoras que compõem o *campus* universitário da Universidade Federal de Campina Grande/PB. **POLÊMICA**. Maracanã, v. 12, n. 2, p. 1267-1279, abr-jun 2013.
- PEREIRA, C. H. *et al.* Grazing supplementation and crop diversification benefits for southern Brazil beef: A case study. **Agricultural Systems**. V.162, p.1-9, 2018.
- PFISTER, S. Understanding the LCA and ISO water footprint: A response to Hoekstra (2016) "A critique on the water-scarcity". **Ecological Indicators**, 2017. p. 352-359.
- PINTO-COELHO, R. M.; HAVENS, K. **Gestão de recursos hídricos em tempo de crise**. 1. ed. Porto Alegre: Artmed, v. 1, 2016.
- PINTO, N. L. S. *et al.* **Hidrologia básica**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blucher, v. 1, 1976.
- PIRES, L. F. *et al.* Water footprint in industries: A systematic bibliographical survey from 2011 to 2016. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v. 11, n. 4, p. 1217-1237, out/dez 2018.
- RALUY, R. G. *et al.* Life cycle assessment of water production technologies-Part 2: reverse osmosis desalination versus the Ebro River water transfer. **Int J LCA**, 2005. p.346-354.
- RIDOUTT, B. G. *et al.* Diet Quality and Water Scarcity: Evidence from a Large Australian Population Health Survey. **Nutrients**, 2019. p.1846.
- RIDOUTT, B. G.; HENDRIE, G. A.; NOAKES, M. Dietary Strategies to Reduce Environmental Impact: A Critical Review of the Evidence Base. **Advances in Nutrition**, 8(6), Nov. 2017. p.933-946.
- RIDOUTT, B.; HODGES, D. From ISO14046 to water footprint labeling: A case study of indicators applied to milk production in south-eastern Australia. **Science of the Total Environment**, 01 Dez. 2017. p.14-19.
- ROCHA, G. O.; ANJOS, J. P.; ANDRADE, J. B. Energy trends and the water-energy binomium for Brazil. **Anais Da Academia Brasileira De Ciencias**. V.87, n.2, p.569-594, 2015.

RODRIGUEZ, R. D. *et al.* Biofuel-water-land nexus in the last agricultural frontier region of the Brazilian Cerrado. **Applied Energy**. v.231, p.1330-1345, 2018.

ROY, A.; DAS, D.; PRAMANICK, K. **Estimation of water footprint (WF) of eden hindu hostel: a first glimpse of consumption pattern of hostel students of an urban university in India.** Environmental Impact on Biodiversity and Plant Development, West Bengal, fev. 2015.

SANTOS, J. N. S. *et al.* Pegada hídrica de classes consumidoras que integram a escola José Dias Guarita em Monte Horebe-PB. **Anais IV CONEDU**, João Pessoa, v. 1, p. 1-11, nov. 2017.

SEMMENS, J.; BRAS, B.; GULDBERG, T. Vehicle manufacturing water use and consumption: an analysis based on data in automotive manufacturers' sustainability reports. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, 19(1), Jan. 2014. p.246-256.

SCARPARE, F. V. *et al.* Sugarcane water footprint under different management practices in Brazil: Tiete/Jacare watershed assessment. **Journal of Cleaner Production**. v. 112, n. 5, p.4576-4584, 2016.

_____. Sugarcane land use and water resources assessment in the expansion area in Brazil. **Journal of Cleaner Production**. v.133, p.1318-1327, 2016.

SILVA, V. P. R. *et al.* Uma medida de sustentabilidade ambiental: pegada hídrica. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande, v. 17, n. 1, p. 100-105, Jan. 2013. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662013000100014&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 25 Jun. 2019. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000100014>.

SILVA, G. A. *et al.* **Avaliação do Ciclo de Vida**. Brasília: Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia- Ibict, 2015. Disponível em: <<http://acv.ibict.br/wp-content/uploads/2016/02/OntologiaACV-2.pdf>>. Acesso em: 04 fevereiro 2020.

SORIANO, E. *et al.* Crise hídrica em São Paulo sob o ponto de vista dos desastres. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, XIX, jan-mar 2016. p.21-42.

SOUSA, V. M. Z. *et al.* Life cycle assessment of biodiesel production from beef tallow in Brazil. **International Journal of Life Cycle Assessment**. v.22, n.11, p.1837-1850, 2017.

STRASBURG, V. J.; JAHNO, V. D. Sustentabilidade de cardápio: avaliação da pegada hídrica nas refeições de um restaurante universitário. **Ambiente & Água**, Taubaté, v. 10, n. 4, p. 903-914, out-dez 2015.

_____. Application of eco-efficiency in the assessment of raw materials consumed by university restaurants in Brazil: A case study. **Journal of Cleaner Production**. v.161, p.178-187, 2017.

TAFFARELLO, D. *et al.* Modeling freshwater quality scenarios with ecosystem-based adaptation in the headwaters of the Cantareira system, Brazil. **Hydrology and Earth System Sciences**. v. 22, n.9, p.4699-4723, 2018.

TAYT'SOHN, F. C. O.; NUNES, A. M. B.; PEREIRA, A. O. Assessing sugarcane expansion to ethanol production under climate change scenarios in Paranaíba river basin – Brazil. **Biomass & Bioenergy**. v.119, p. 436-445, 2018.

TEDESCHI, L. O. *et al.* A glimpse of the future in animal nutrition science. 1. Past and future challenges. **Revista Brasileira de Zootecnia**. V.46, n.5, p.438-451, 2017.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Recursos Hídricos no século XXI**. São Paulo: Oficina de Texto, 2011.

UGAYA, C. M. L. **Avaliação do Ciclo de Vida**. Paraná: Ecoinvent, 2013.

USVA, K. *et al.* Applying water scarcity footprint methodologies to milk production in Finland. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, 24(2), 2019. 351-361.

VALE, R. L. *et al.* Assessment of the gray water footprint of the pesticide mixture in a soil cultivated with sugarcane in the northern area of the State of Pernambuco, Brazil. **Journal of Cleaner Production**. v. 234, p.925-932, 2019.

VALLEJO, A. L. **Metodología Práctica parala Cuantificación dela Huella de Agua en Plantas Empacadoras de Banano en Costa Rica**. Escuela de Química, Instituto Tecnológico de Costa Rica: Catargo, 2015. p.108.

VISENTIN, J. C.; GUILHOTO, J. J. M. The Role of Interregional Trade in Virtual Water on the Blue Water Footprint and the Water Exploitation Index in Brazil. **Review of Regional Studies**. v.49, n.2, p.299-322, 2019.

VOSS, M. *et al.* Feasibility of paper microzone plates for greener determination of the alcoholic content of beverages by thermal infrared enthalpimetry. **Analytical Methods**. v.11, n.39, p.4983-4990, 2019.

WATER USE LIFE CYCLE ASSESSMENT (WULCA). **Water Footprint in LCA, 2020**. Disponível em: <<http://www.wulca-waterlca.org/footprinting.html>>. Acesso em: 25 jan. 2020.

WEIDEMA, P.; WESNAES, M. S. Data quality management for life cycle inventories-an example of using data quality indicators. **Journal Cleaner Production**, Grã-Bretanha, 4, n. 3-4, 1996. 167-174. Disponível em: <periodicos.capes.gov.br>. Acesso em: 28 janeiro 2020

WICHELNS, D. Virtual water and water footprints: Overreaching into the discourse on sustainability, efficiency, and equity. **Water Alternatives**, 8(3): 396-414, 2015.

WOJCIKIEWICZ, C. A. *et al.* Gray water footprint of whiteleg shrimp intensive pond systems in brackish water. **Boletim do Instituto de Pesca**. v.43, n. 3, p.426-436, 2017.

YANG, D. *et al.* Environmental improvement of lead refining: a case study of water footprint assessment in Jiangxi Province, China. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, 24(8), 2019. 1533-1542.

YEH, S. *et al.* Evaluation of water use for bioenergy at different scales. **Biofuels Bioproducts & Biorefining-BIOFPR**. v.5(1), n. 4, p. 361-374, 2011.

ZHUO, L.; MEKMONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. **Water footprint and virtual water trade of China: Past and future**. Value of Water Research Report Series n°. 69. UNESCO-IHE. Delft, the Netherlands. p. 70. 2016.

3 CAPÍTULO 2 - PEGADA HÍDRICA AZUL DE UM CAMPUS UNIVERSITÁRIO: UM ESTUDO DE CASO

Resumo: Apesar da água disponível no planeta ser suficiente para atender as demandas, sua má distribuição pode afetar a disponibilidade em certas regiões causando escassez em períodos de estiagem. Dessa forma, indicadores do uso da água são ferramentas importantes para ajudar no gerenciamento desses recursos. Um instrumento que vem ganhando espaço é a Pegada Hídrica, coordenada pela *Water Footprint Network* (WFN) a metodologia pode ser utilizada para ajudar na gestão de empresas públicas e privadas enquanto aos riscos em relação ao uso da água. Nesse contexto, foi realizada a avaliação da pegada hídrica azul no uso direto da água de uma instituição de ensino localizada na bacia do Rio Sorocaba, o qual apresenta estresse hídrico. Verificou-se a insustentabilidade da disponibilidade hídrica entre os meses de maio e novembro e a insustentabilidade da instituição, evidenciando a necessidade de um melhor gerenciamento dos processos internos da IFES no uso dos recursos hídricos.

Palavras-chave: Gestão de recursos hídricos. Indicadores de uso da água. Instituição de Ensino Superior.

***Abstract:** Although the water available on the planet is sufficient to meet the demands, its poor distribution can affect the availability in certain regions causing scarcity in periods of drought. Thus, water use indicators are important tools to help manage these resources. An instrument that has been gaining ground is the Water Footprint, coordinated by the Water Footprint Network (WFN). The methodology can be used to help in the management of public and private companies regarding the risks related to the use of water. In this context, an assessment of the blue water footprint in the direct use of water of an educational institution located in the Sorocaba River basin was carried out, which presents water stress. There was unsustainability of the basin between the months of May and November and the unsustainability of the institution in relation to other universities, highlighting the need for better management of IFES internal processes in the use of water resources.*

Keywords: Water resource management. Water use indicators. Higher Education Institution.

3.1 INTRODUÇÃO

Toda a atividade humana interage com o meio ambiente, podendo causar potenciais impactos desde extração de recursos naturais quanto à emissão de poluentes para o ar, solo ou água. Um importante recurso natural, extremamente necessário à vida na terra, é a água. Substância que exerce uma função biológica em todos os seres vivos (MARZULLO e MATAI, 2012). Entretanto, o aumento do uso da água na agricultura, na indústria e o crescimento populacional têm aumentado a pressão sobre este recurso, causando conflitos em muitas regiões (TUNDISI e TUNDISI, 2011).

Apesar da quantidade de água de forma global ser abundante se considerada uma base anual, a variação geográfica e temporal é significativa, causando escassez em várias regiões do mundo em períodos específicos do ano (MEKONNEM e HOEKSTRA, 2016). A disponibilidade hídrica em níveis satisfatórios e de qualidade, para atender a demanda dos múltiplos usos da água, representa motivo de grande preocupação. Diante deste cenário, são necessárias medidas de gestão na busca da sustentabilidade do uso deste recurso (MAUAD e LIMA, 2003).

A pegada hídrica surgiu como um indicador capaz de identificar a (in)sustentabilidade do uso da água pelo homem. O conceito foi inspirado na pegada ecológica de Wackernagel e Rees (1996), que estima a capacidade de suporte de uma área para atender as necessidades de consumo de recursos e assimilação de resíduos gerados pelo homem. Da mesma forma, a pegada hídrica aborda o conceito do ciclo de vida, contabilizando o uso da água de forma abrangente, desde a sua captação até a sua degradação, incluindo a água da chuva (HOEKSTRA, 2017). O indicador fornece uma visão holística, revelando ser uma importante ferramenta para a gestão estratégica e para o processo decisório no que concerne ao uso da água.

A pegada hídrica pode ser utilizada para gestão em grande escala como países e nações, e em pequena escala como prédios, organizações, produtos e indivíduos. As universidades, consideradas organizações complexas, utilizam de vários recursos naturais para o desenvolvimento de suas atividades internas. “Contribuem significativamente para o desenvolvimento da sociedade, e por isso têm uma responsabilidade social especial, em particular no que diz respeito à proteção sustentável do ambiente e à utilização dos recursos naturais” (VIEBAHN, 2002, p.3).

Neste cenário, o objeto desta pesquisa é um *campus* universitário em expansão, criado sob o viés da sustentabilidade, que está localizado em uma região sob estresse hídrico. O objetivo é avaliar a pegada hídrica do *campus* como uma ferramenta de gestão. Como o *campus* está em expansão, faz-se necessário conhecer o desempenho do sistema para subsidiar o processo de tomada

de decisão no que concerne à capacidade de abastecimento hídrico no caso da ampliação de cursos e prédios na instituição.

3.2 REVISÃO DE LITERATURA

A pegada hídrica é um indicador que considera o uso direto e indireto da água, isto é, considera a apropriação do uso da água pelo homem e quantifica-o. Está subdividida em três partes, pegada hídrica azul, pegada hídrica verde e pegada hídrica cinza. A pegada hídrica azul refere-se ao consumo de água superficial e/ou subterrânea captada que evapora, retorna a outra bacia ou ao mar, ou é incorporada no produto, é o uso consuntivo, ou seja, que é efetivamente ‘consumido’. A pegada hídrica verde refere-se ao consumo de água de chuva que fica no solo temporariamente, desconsiderando a água que escoar ou percola. A pegada hídrica cinza refere-se à poluição da água durante o processo e é definida como o volume de água necessário para diluir a carga de poluentes, a partir de concentrações naturais e dos padrões de qualidade da água existentes (HOEKSTRA *et al.*, 2011).

A metodologia vem sendo utilizada para o cálculo do uso da água de forma direta e indireta por indivíduos, organizações, cidades e nações (ZHUO *et al.*, 2016; PAHLOW *et al.*, 2015; MEKONNEN *et al.*, 2014; CHOUCANE *et al.*, 2013; HOEKSTRA e MEKMONNEN, 2012; OEL e HOEKSTRA, 2010; CHAPAGAIN e ORR, 2009; HOEKSTRA e CHAPAGAIN, 2008; CHAPAGAIN e HOEKSTRA, 2008; 2007; CHAPAGAIN, *et al.*, 2006; CHAMPAGAIN *et al.*, 2005; 2006; CHAPAGAIN e HOEKSTRA, 2004).

No Brasil a literatura sobre pegada hídrica ainda é exígua, ainda mais relacionados à Universidade. Um levantamento na base de dados do portal de periódicos da CAPES, com os critérios: “water footprint” e “university” (no título), apresentou 49 resultados, que após a leitura dos resumos, identificou-se 6 trabalhos nacionais e 3 internacionais abordando instituições de ensino e/ou sua comunidade acadêmica conforme elencado no quadro 5. A predominância é no levantamento da pegada hídrica indireta da comunidade acadêmica¹².

¹² Considera-se comunidade acadêmica todos os integrantes da Instituição de Ensino como alunos, docentes, técnicos e colaboradores terceirizados.

QUADRO 5 - Relação da literatura com aplicação da metodologia "Pegada Hídrica" em Instituições de Ensino.

Autor	Conteúdo
PATRÍCIO <i>et al.</i>, 2013.	Compararam a Pegada Hídrica entre os estudantes (graduandos e pós-graduandos) e professores do Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, como também funcionários efetivos e trabalhadores terceirizados da Universidade Federal de Campina Grande, no Estado da Paraíba.
STRASBURG e JAHNO, 2015.	Calcularam a Pegada Hídrica na composição de cardápios em um Restaurante Universitário em Porto Alegre no Estado do Rio Grande do Sul.
MOREIRA e BARROS, 2015	Realizaram o levantamento da Pegada Hídrica dos estudantes, funcionários e professores da escola Antônio Landim de Macêdo situada na zona rural de Aurora no Estado do Ceará.
ROY, DAS e PRAMANICK, 2015	Estimaram a pegada hídrica indireta de estudantes de uma universidade urbana na Índia.
HARDING, MOFOMATE e SELOTA, 2016	Calcularam a pegada hídrica de um laboratório de uso misto na Universidade de Witwatersrand, Joanesburgo.
GIACOMIN e OHNUMA JR., 2017.	Estimaram a Pegada Hídrica de um grupo de alunos dos cursos de Engenharia Química, Engenharia Mecânica, Pedagogia e Administração da FAACZ – Faculdades Integradas de Aracruz.
SANTOS <i>et al.</i>, 2017.	Calcularam a Pegada Hídrica de alunos, funcionários e professores da escola municipal José Dias Guarita, localizada no município de Monte Horebe no Estado da Paraíba.
MIRANDA, VASCONCELOS e FERREIRA, 2017.	Analisaram a Pegada Hídrica de estudantes Universitários de quatro Instituições de Ensino Superior do Estado de Santa Catarina, sendo três públicas e uma particular.
KANDANANOND, 2019.	Calculou a pegada hídrica indireta da produção de energia elétrica utilizada em uma Universidade Pública da Tailândia.
HATJIATHANASSIADOU <i>et al.</i>, 2019	Calcularam o impacto ambiental do cardápio do restaurante universitário no nordeste brasileiro.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

3.3 MÉTODOS

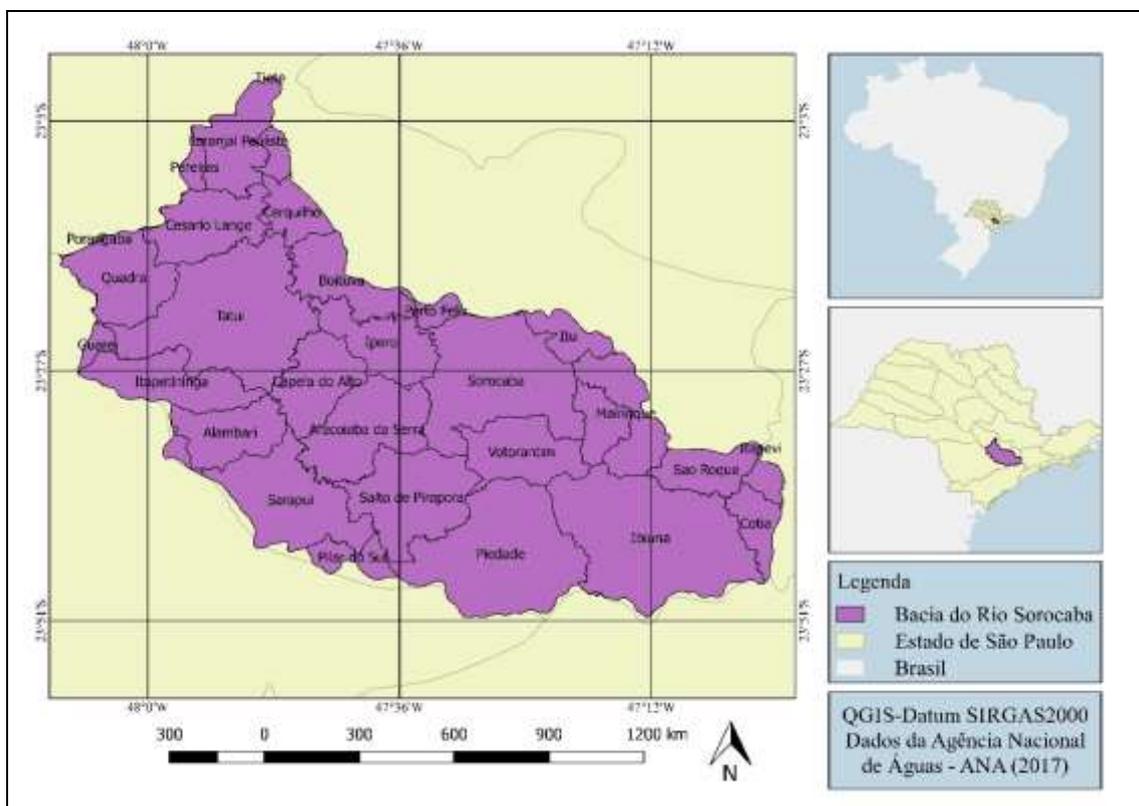
A pegada hídrica se difere da medida tradicional de disponibilidade x demanda, pois 1) considera o uso consuntivo, ou seja, a água que retorna à bacia não é contabilizada e a metodologia tradicional se concentra na captação da água; 2) pode ser considerada a água verde e cinza para o cálculo, que é ignorada nos cálculos tradicionais, e; 3) não se restringe ao uso direto, mas considera também o uso indireto da água, fornecendo informações espacial e temporalmente de como o homem se apropria desse recurso para diversos propósitos (HOEKSTRA *et al.*, 2011).

A metodologia se divide em quatro etapas: 1) Definição de metas e escopo, 2) Contabilização da pegada hídrica, 3) Avaliação da sustentabilidade da pegada hídrica e 4) Formulação de respostas à pegada hídrica, as quais serão brevemente descritas nas próximas seções.

3.3.1 Caracterização da área de estudo

O *campus* Sorocaba da Universidade Federal de São Carlos - UFSCar está localizado na bacia do Rio Sorocaba (Fig.13), no interior do estado de São Paulo, Brasil. Uma das regiões mais industrializadas do Estado, e também a terceira em déficit hídrico (DAMASCENO, *et al.*, 2014).

FIGURA 13 – Municípios pertencentes à Bacia do Rio Sorocaba.



Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

O campus possui 70 hectares de extensão e 50 mil m² de área construída, com uma população fluente estimada de 3.640 pessoas em 2019. Há três centros acadêmicos – Centro de Ciências e Tecnologias para a Sustentabilidade (CCTS), Centro de Ciências Humanas e Biológicas (CCHB) e Centro de Ciências em Gestão e Tecnologia (CCGT), dois edifícios de aulas teóricas (AT01 e AT02), 78 laboratórios, três auditórios, biblioteca, restaurante universitário, lanchonete, ambulatório, quadra esportiva e pista de atletismo (UFSCAR, 2019).

O abastecimento hídrico do *campus* Sorocaba é realizado por água subterrânea com funcionamento de dois poços profundos com vazões de 9,68 e 15 m³ h⁻¹. Os poços foram dimensionados para uma estimativa populacional de 10.000 pessoas. Além do quantitativo de uso *per capita*, o planejamento considerou também a quantidade de água requerida nos laboratórios dos cursos como ciências biológicas, química etc., principalmente em equipamentos como destiladores de água.

3.3.1.1 Metas e escopo

Uma avaliação da pegada hídrica completa requer um número elevado de dados, entretanto a unidade estudada ainda não possui informações sobre o uso da água nos diversos processos internos da Universidade. Com isso, para este estudo as informações disponibilizadas serão suficientes para a avaliação ambiental da pegada hídrica azul no uso direto da água para o ano de 2019.

3.3.1.2 Contabilização da pegada hídrica

Nesta etapa efetua-se a contabilização do uso da água de acordo com a definição no objetivo e escopo. A base para contabilização são as etapas de cada processo, no caso da IFES o processo é a produção do conhecimento incluindo a manutenção dos espaços e os diversos usos da água dentro da instituição. Os autores da pegada hídrica disponibilizam no website da comunidade WFN (waterfootprint.org) os dados em macro escala de grandes bacias hidrográficas e países de todo o mundo. Todavia, para esta pesquisa foram utilizados dados regionalizados para a bacia do rio Sorocaba, segundo Abreu e Tonello (2015; 2017 e 2018) e a demanda ambiental segundo Hoekstra *et al.* (2012). O uso consuntivo do *campus* Sorocaba foi obtido junto ao Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Sorocaba (SAAE) e multiplicado pelo coeficiente de retorno para consumo humano (0,80) segundo ANA (2013).

3.3.1.3 Avaliação da sustentabilidade da pegada hídrica

A avaliação de sustentabilidade da pegada hídrica compara a pegada hídrica humana com a capacidade de suporte hídrico da terra. A sustentabilidade deve ser analisada em relação à bacia hidrográfica e às práticas internas na instituição.

3.3.1.3.1 Sustentabilidade da bacia

Para calcular a sustentabilidade da bacia, a metodologia propõe o cálculo da Escassez de Água (EA) e o Índice de Impacto da Pegada Hídrica Azul (IIPH_{azul}) com dados locais. As equações são disponibilizadas por Hoekstra e coautores (2011), e descritas a seguir.

Escassez de água azul (EA_{azul}):

$$EA_{azul}[x,t] = \frac{\sum PH_{azul}[x,t]}{DA_{azul}[x,t]} \quad (1)$$

Onde DA_{azul} é a vazão natural da bacia (Q_{nat}) menos a demanda de vazão ambiental (DVA).

Índice de Impacto da Pegada Hídrica Azul ($IIPH_{azul}$):

$$IIPH_{azul} = \sum x \sum t (PH_{azul}[x,t] \cdot EA_{azul}[x,t]) \quad (2)$$

Onde o $PH_{azul}[x,t]$ é a pegada hídrica azul de um produto ou serviço específico na bacia (x) por mês (t) e $EA_{azul}[x,t]$ é a escassez de água azul da bacia (x) por mês (y). O índice é obtido pela multiplicação das matrizes e posterior soma dos elementos da matriz resultante. Os resultados podem ser interpretados como uma pegada hídrica ponderada segundo o seu respectivo impacto nos lugares e períodos onde ocorrem os diversos componentes da pegada hídrica.

Mekonnen e Hoekstra (2016) classificaram a escassez hídrica da bacia como baixa, se a pegada hídrica azul não exceder a disponibilidade de água azul; moderada se a pegada hídrica atingir entre 100% e 150% da disponibilidade da bacia; significativa se a pegada hídrica estiver entre 150% e 200% da disponibilidade da bacia; e severa se superar 200% da disponibilidade. Dessa forma, foi calculada a escassez de água da bacia com os dados regionalizados aplicando a fórmula 01 e o impacto da pegada hídrica aplicando a equação 2.

3.3.1.3.2 Sustentabilidade da pegada hídrica da instituição

Para Hoekstra *et al.* (2011) a pegada hídrica é insustentável quando houver possibilidade de ser reduzida ou evitada. Com isso, foi realizado um levantamento do consumo de água em litros por pessoa por dia (L/pessoa/dia) em outras universidades, a fim de comparar a sustentabilidade do uso da água per capita da comunidade acadêmica com o melhor cenário disponível na literatura.

Na bibliografia encontrada os autores utilizaram o volume captado e não consuntivo para o cálculo do uso per capita. Com isso, para fins de comparabilidade com a literatura foi adotada a mesma metodologia para a avaliação da sustentabilidade do uso direto da água no *campus* Sorocaba da UFSCar. Foram encontrados consumo per capita da Universidade Federal da Bahia (UFBA) (MARINHO, GONÇALVES e KIPERSTOK, 2014), da UC Berkeley (UNIVERSIDADE DA

CALIFÓRNIA, 2019), da Área I do campus São Carlos da Universidade de São Paulo (USP) (BOTASSO, LOUREIRO e DIAS, 2014) e da Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira também da USP (USP, 2011).

3.3.1.4 Formulação de respostas à pegada hídrica

A formulação de resposta depende do escopo da avaliação. Após a identificação dos pontos críticos, são propostas ações para mitigar a pressão do uso da água pela instituição e minimizar seu impacto nos recursos hídricos. As ações sugeridas e os departamentos responsáveis pela gestão da Instituição, estão apresentados de forma detalhada na próxima seção.

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

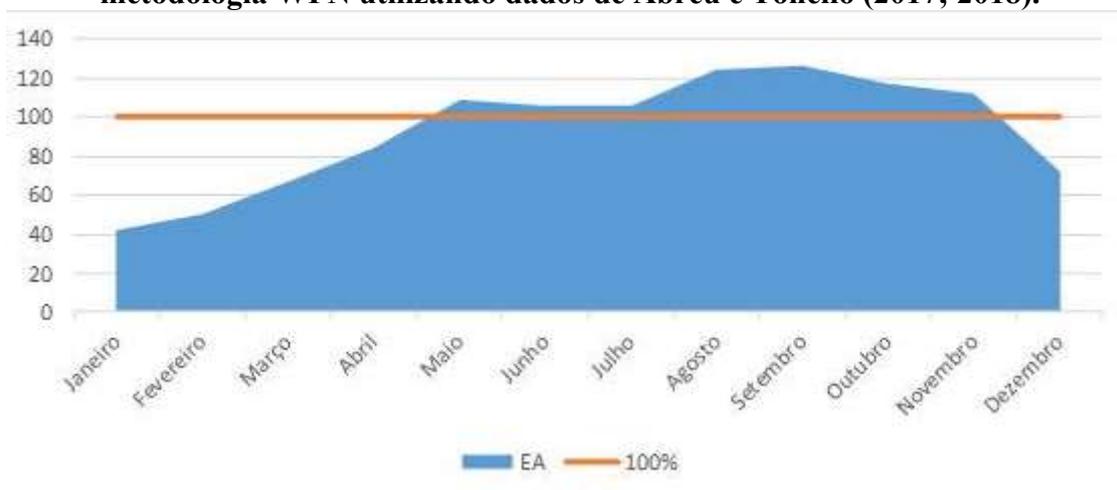
Após a regionalização segundo Abreu e Tonello (2017; 2018), aplicou-se a equação (01) e obtivemos os dados referente a escassez hídrica da bacia do rio Sorocaba. Os dados evidenciam que a demanda da bacia excedeu 100% da disponibilidade entre os meses de maio e novembro, com os piores cenários em agosto e setembro, e apresentou resultados dentro da normalidade entre os meses de dezembro a abril, conforme Tabela 1 e Figura 14. Cabe destacar que a média da vazão da bacia corresponde ao período de 2006 a 2012, e os dados disponíveis na instituição para a avaliação são de 2019, então os cálculos a seguir são estimados para o período.

TABELA 1– Pegada de Escassez Hídrica Azul segundo WFN utilizando dados de Abreu e Tonello (2017; 2018).

Mês	Escassez de Água Azul (EA_{azul})%
Janeiro	42
Fevereiro	50
Março	67
Abril	84
Maió	109
Junho	106
Julho	106
Agosto	124
Setembro	126
Outubro	117
Novembro	112
Dezembro	72

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

FIGURA 14 - Meses do ano em que a demanda excede a disponibilidade segundo a metodologia WFN utilizando dados de Abreu e Tonello (2017; 2018).



Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

O índice de impacto da pegada hídrica azul ($IIPH_{azul}$) do *campus* é obtido pela equação (02).

Os resultados estão apresentados na Tabela 2 a seguir.

TABELA 2 - Índice de Impacto da Pegada Hídrica Azul ($IIPH_{azul}$ em metro cúbico (m^3) e por pessoa em litros) do *campus* Sorocaba da UFSCar segundo WFN.

Mês	Água Captada m^3	Água captada por pessoa em L	Uso Consuntivo $m^3/mês$	Escassez de água azul (EA_{azul})	$IIPH_{azul} m^3$	$IIPH$ por pessoa em L
Jan/19	3131	860,16	626	0,42	265	72,80
Fev/19	3375	927,20	675	0,50	337	92,58
Mar/19	4040	1109,89	808	0,67	544	149,45
Abr/19	3272	898,90	654	0,84	551	151,37
Mai/19	3879	1065,66	776	1,09	845	232,14
Jun/19	3667	1007,42	733	1,06	777	213,46
Jul/19	3451	948,08	690	1,06	734	201,64
Ago/19	3713	1020,05	743	1,24	921	253,02
Set/19	3316	910,99	663	1,26	837	229,94
Out/19	3845	1056,32	769	1,17	897	246,42
Nov/19	3376	927,47	675	1,12	756	207,69
Dez/19	3303	907,42	661	0,72	478	131,31
SOMA	42368	11639,56	8473		7881	2165,11
MÉDIA	3530	969,96	706		661	181,81

Fonte: elaborado pela autora, 2020.

O $IIPH_{azul}$ da Instituição apresenta uma PH_{azul} ponderada à escassez de água azul da bacia do rio Sorocaba. Entre os meses de maio e novembro a demanda excede a disponibilidade da bacia causando maior impacto ambiental, e entre os meses de dezembro e abril (período chuvoso), a demanda apresenta fluxo abaixo da disponibilidade. Na média anual o $IIPH_{azul}$ não apresenta

escassez. Entretanto, de maio e novembro a demanda viola a disponibilidade hídrica da bacia com escassez moderada (entre 100% e 150%) apresentando a insustentabilidade da bacia para o período, podendo ocorrer dessa forma, impactos ambientais em outros ecossistemas que dependem dessa água.

Já a o Índice de Pegada Hídrica per capita anual da população estudada foi de 2.165,11 Litros. Considerando o uso individual por dia, a média são 6 L/pessoa/dia de água consumida. Entretanto, para comparar a sustentabilidade ambiental no uso da água da instituição com outras universidades, não foram encontradas pesquisas indicando a taxa de uso consuntivo e sim captado da água. A tabela 3 apresenta os resultados encontrados na literatura e o obtido no *campus* Sorocaba.

TABELA 3 - Consumo de água captada por pessoa.

Instituição	Ano	Consumo per capita (litros/pessoa.dia)
UFBA	1999/2000	46,6
	2004	31,9
	2008	23,6
	2011	26,8
Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira da USP	2011	60
Área I do <i>campus</i> da USP em São Carlos	2012/2013	57,2
UC BERKELEY	2019	46,9
<i>Campus</i> Sorocaba da UFSCar	2019	32
MÉDIA	-	40,6

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

O consumo médio anual per capita do *campus* Sorocaba da UFSCar foi de 32 L/pessoa/dia, sendo o mínimo em janeiro (29 L/pessoa/dia) e o máximo em março (37 L/pessoa/dia). Marinho, Gonçalves e Kiperstok (2014) calcularam o consumo per capita da Universidade Federal da Bahia e obtiveram 46 L/pessoa/dia antes de iniciar um programa de economia de água (AGUAPURA), com reduções sucessivas nos anos posteriores à implantação do projeto, conforme tabela 3.

Já BOTASSO, LOUREIRO e DIAS (2014) realizaram um levantamento do consumo na Área I do *campus* da USP em São Carlos e obtiveram 57,2 litros por pessoa por dia com dados de 2012 e 2013 e a UC Berkeley (UNIVERSIDADE DA CALIFÓRNIA, 2019), apresentou em seu relatório anual de sustentabilidade, o consumo médio de 46,9 litros per capita ao dia. Em 2011, o PURA (Programa de Uso Racional da Água da Universidade de São Paulo) realizou um

levantamento da demanda do consumo da água por tipologia na Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira, onde identificou uma demanda média de 60L/pessoa/dia (USP, 2011).

Dessa forma, apesar do *campus* Sorocaba não possuir um programa de orientação e incentivo no uso consciente da água, o consumo per capita estabeleceu-se abaixo da média apontada na literatura de 40,6 L/pessoa/dia (Tabela 3). Entretanto, as universidades citadas contemplam moradias estudantis e cocção dos alimentos nos Restaurantes Universitários de suas dependências. Já o objeto de estudo faz uso de comida transportada (fabricada exteriormente ao campus) e as moradias estudantis são localizadas fora dos limites do *campus*.

Em relação ao menor consumo apontado na literatura, alcançado pela UFBA em 2008, de 23,6 L/pessoa/dia (incluso moradia estudantil nas dependências da instituição e cocção das refeições do RU), a UFSCar apresenta insustentabilidade nas operações internas em comparação ao melhor cenário de *benchmarking* encontrado na literatura.

Cabe ressaltar que foram encontradas outras medidas de consumo em Universidades utilizando Indicador de Consumo por agente consumidor (ICp) de Oliveira e Gonçalves (1999) onde considera o tipo de consumidor, fazendo distinção entre a comunidade acadêmica (discente, servidores e colaboradores) com média ponderada à cada categoria, e o Indicador de Consumo por área (ICa), segundo Bannister, Munzinger e Bloomfield (2005) que calcula a relação do consumo anual de acordo com a área construída em m². Para fins de comparação foi utilizada a literatura que calculou a taxa de utilização da água pela comunidade acadêmica (UNIVERSIDADE DA CALIFÓRNIA, 2019; MARINHO, GONÇALVES e KIPERSTOK, 2014; BOTASSO, LOUREIRO e DIAS, 2014 e USP, 2011).

Como formulação de resposta à pegada hídrica, em relação à pegada hídrica azul direta do *campus*, as ações devem ser tomadas com a finalidade de melhorar o gerenciamento interno do uso da água de forma integrada e empenhar esforços no término da construção da ETE para início do reuso da água.

A primeira ação refere-se ao término da instalação dos hidrômetros pela Prefeitura Universitária (Restaurante Universitário, Estufa do DCA, Biblioteca e Quadra), para controle do consumo de água e identificação de possíveis vazamentos. A segunda ação, a qual pode ser aplicada em conjunto a primeira, é a criação de um programa de conservação e uso racional de água, envolvendo toda a comunidade acadêmica, com cartazes em pontos estratégicos para conscientização do uso racional. Atualmente, a Prefeitura Universitária do *campus* já divulgou cartazes com instruções das ações a serem tomadas em caso de detecção de vazamentos pela

comunidade acadêmica (Apêndice II) e instituiu rotinas de verificação de vazamento pelos colaboradores terceirizados.

Outra proposta é a definição de metas mensais ou anuais por prédio ou laboratório, com divulgação do consumo pela rede de comunicação oficial da instituição (*inforede*), incentivando o alcance da meta previamente estabelecida. Como medida de estímulo, a administração pode oferecer uma bonificação ou certificado para a administração responsável pelo prédio ou laboratório que bater a meta de redução de consumo no ano. E no caso de construção de novos prédios, a administração deve adotar medidas como captação da água da chuva e construção de cisternas para armazenamento.

3.5 CONCLUSÕES

Foi realizada avaliação ambiental da pegada hídrica direta da água azul no *campus* Sorocaba da UFSCar e a sustentabilidade ambiental da bacia em que a Instituição está inserida. Identificou-se a insustentabilidade da bacia entre os meses de maio a novembro, violando a demanda ambiental da bacia, podendo causar impactos ambientais como queda na biodiversidade e extinção de espécies. Identificou-se também a insustentabilidade da pegada hídrica direta azul da instituição em relação ao menor consumo encontrado na literatura, evidenciando a necessidade de um melhor gerenciamento dos processos internos da IFES no uso dos recursos hídricos.

Dessa forma, foram sugeridas respostas aos pontos críticos identificados. A limitação encontrada foi a falta de dados para a avaliação da pegada hídrica completa, pois a instituição ainda não tem o controle do uso da água instituído em todos os prédios do *campus* e a análise dos efluentes emitidos, pois seriam necessários as composições e o volume dos efluentes, para a estimativa da quantidade de água necessária para a diluição destes componentes para a realização da avaliação da pegada cinza. E para o cálculo da pegada hídrica verde seria necessária a instalação de uma miniestação meteorológica para estimar a PH_{verde} em microescala e um lisímetro para medir a evapotranspiração dos cultivares. Como trabalhos futuros recomenda-se a construção de um inventário das possíveis emissões de poluentes para a água, a medição dos efluentes emitidos, assim como o uso da água setorizada para melhor identificação dos pontos críticos.

REFERÊNCIAS

- ABREU, M. C. **Avaliação hidrológica e relação entre disponibilidade e demanda hídrica na bacia hidrográfica do rio Sorocaba – SP**. 2015, 48 f. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade na Gestão Ambiental) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2015.
- ABREU, M. C.; TONELLO, K. C. Avaliação dos Parâmetros Hidrometeorológicos na Bacia do Rio Sorocaba/SP. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 1, 99-109, 2017.
- ABREU, M. C.; TONELLO, K. C. Disponibilidade e demanda hídrica na bacia do rio Sorocaba, Brasil: um alerta à gestão dos recursos hídricos. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, MG, v.30, n.3, p. 209-232, dez. 2018.
- BANNISTER, P.; MUNZINGER, M.; BLOOMFIELD, C. Water benchmarks for offices and public buildings. **Exergy**, Austrália, v. 2, n. 1, p. 1-24, 2005.
- BOTASSO, A. M.; LOUREIRO, E. M. M.; DIAS, P. C. **Gestão da água na área I do campus São Carlos da USP**. Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 70. 2014.
- CHAPAGAIN, A. K. *et al.* **The water footprint of cotton consumption**. UNESCO-IHE. Delft, p. 44. 2005.
- CHAPAGAIN, A. K. *et al.* The water footprint of cotton consumption: an assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. **Ecological Economics**, p.186-203, 2006.
- CHAPAGAIN, A. K.; HOEKSTRA, A. Y. The global component of freshwater demand and supply: an assessment of virtual water flows between nations as a result of trade in agricultural and industry. **Water International**, v. 33, n. 1, p. 19-32, 2008.
- CHAPAGAIN, A. K.; HOEKSTRA, A. Y. The water footprint of coffee and tea consumption in the Netherlands. **Ecological Economics**, p. 109-118, 2007.
- CHAPAGAIN, A. K.; HOEKSTRA, A. Y. **Water footprints of nations**. Value of Water Research Report Series n.16. UNESCO-IHE. DELFT. 2004.
- CHAPAGAIN, A. K.; ORR, S. An improved water footprint methodology linking global consumption to local water resource: a case study of Spanish tomatoes. **Journal of Environmental Management**. p.1219-1228, 2009.
- CHOUCHANE, H.; HOEKSTRA, A. Y.; KROL, M. S.; MEKONNEN, M. M. **Water footprint of Tunisia from an economic perspective**. Value of Water Research Report Series n. 61, UNESCO-IHE. Delph. 2013.
- DAMASCENO, A. F. *et al.* Observatório do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Sorocaba e Médio Tietê: um Projeto de Extensão Desenvolvido na UFSCar, *Campus Sorocaba*. **Revista de**

Cultura e Extensão Universitária - USP, São Paulo, n. 12, p.109-123, nov. 2014. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/rce/article/view/86809>. Acesso em: 04 abr. 2019.

GIACOMIN, G. S.; OHNUMA JR., A. A. Estimativa da pegada hídrica de um grupo de alunos de uma instituição de ensino superior. **Revista Internacional de Ciências**, v. 7, n. 1, p. 49-63, jan-jun 2017.

HARDING, K.; MOFOMATE, B. F.; SELOTA, T. R. Water footprint of a mixed use laboratory/office building at the University of the Witwatersrand. Johannesburg. **Industrial and Mining Water Research Unit**, Witwatersrand, 2016.

HATJIATHANASSIADOU, M *et al.* Environmental Impacts of University Restaurant Menus: A Case Study in Brazil. **Sustainability**. v.11, n.19, 2019.

HOEKSTRA, A. Y. *et al.* **Manual de Avaliação da Pegada Hídrica: estabelecendo um padrão global**. Tradução pelo Instituto de Conservação Ambiental The Nature Conservancy do Brasil em parceria com a Water Footprint Network. São Paulo: Water Footprint Network, 2011

HOEKSTRA, A. Y. Water Footprint Assessment: Evolvement of a New Research Field. **Water Resource Management**. v.31, p. 3061–3081, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1618-5>. Acesso em: 03 jul. 2020.

HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K. **Globalization of water: sharing the planet's freshwater resources**. 2. ed. Oxford: Blackwell Publishing, v. 1, 2008.

HOEKSTRA, A. Y.; MEKONNEN, M. M. The water footprint of humanity. **PNAS**, Oakland, v. 109, n. 9, p. 3232-3237, fev. 2012.

KANDANANOND, K. The energy related water footprint accounting of a public organization: the case of a public university in Thailand. **Energy Procedia**, Nagoya, v. 156, p. 149-153, 2019.

MARINHO, M.; GONÇALVES, M. S.; KIPERSTOK, A. Water conservation as a tool to support sustainable practices in a Brazilian public university. **Journal of Cleaner Production**, Bahia, p.98-106, 2014.

MARZULLO, R. C. M.; MATAI, P. H. L. S. A pegada hídrica com abordagem de avaliação do ciclo de vida (ACV). In: EMPINOTTI, V.; JACOBI, P. R. (orgs.). **Pegada hídrica: inovação, corresponsabilização e os desafios de sua aplicação**. São Paulo: Annablume, 2012. p. 99-118.

MAUAD, F. F.; LIMA, G. Planejamento estratégico de sistemas hídricos. In: MARTINS, R. C.; VALENCIO, N. F. S. **Uso e gestão dos recursos hídricos no Brasil: desafios teóricos e político-institucionais**. São Carlos: RiMa, 2003. Cap. 7, p. 99-126.

MEKONNEN, M. M. *et al.* **Water Footprint Assessment for Latin America and the Caribbean: An analysis of the sustainability, efficiency and equitability of water consumption and pollution**. Value of Water Research Report Series n°. 66. UNESCO-IHE. DELFT, 2014.

MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. Four billion people facing severe water scarcity. **Science Advances**, v. 2, n. 2, 05 fev. 2016. Disponível em: <https://advances.sciencemag.org/content/2/2/e1500323/tab-pdf>. Acesso em: maio de 2020.

MIRANDA, J. B.; VASCONCELOS, A. M.; FERREIRA, D. D. M. PEGADA HÍDRICA DE ESTUDANTES UNIVERSITÁRIOS DE SANTA CATARINA. **RG&SA**, Florianópolis, v. 6, n. 2, p. 227-239, jul-set 2017.

MOREIRA, R. S.; BARROS, S. D. S. PEGADA HÍDRICA DE CLASSES CONSUMIDORAS QUE COMPÕEM A ESCOLA ANTÔNIO LANDIM DE MACÊDO EM AURORA - CE. **Polêm!ca**, Maracanã, v. 15, n. 1, p. 18-27, abr-jun 2015.

OEL, P. R.; HOEKSTRA, A. Y. **The green and blue water footprint of paper products: methodological considerations and quantification**. UNESCO-IHE. Institute for Water Education. Delft, the Netherlands, p. 36. 2010.

OLIVEIRA, L. H.; GONÇALVES, O. M. Metodologia para implantação de programa de uso racional de água em edifícios. **EPUSP**. São Paulo. 1999.

PAHLOW, M.; KROL, M. S.; HOEKSTRA, A. Y. **Assessment of measures to reduce the water footprint of cotton farming in India**. Value of Water Research Report Series nº. 68. UNESCO-IHE. Delft, the Netherlands, p. 76. 2015.

PATRÍCIO, M. C. M. *et al.* Comparação da pegada hídrica entre classes consumidoras que compõem o *campus* universitário da Universidade Federal de Campina Grande/PB. **POLÊM!CA**. Maracanã, v. 12, n. 2, p. 1267-1279, abr-jun 2013.

ROY, A.; DAS, D.; PRAMANICK, K. Estimation of water footprint (WF) of eden hindu hostel: a first glimpse of consumption pattern of hostel students of an urban university in India. **Environmental Impact on Biodiversity and Plant Development**, West Bengal, fev. 2015.

SANTOS, J. N. S. *et al.* Pegada hidrica de classes consumidoras que integram a escola José Dias Guarita em Monte Horebe-PB. **Anais IV CONEDU**, João Pessoa, v. 1, p. 1-11, nov. 2017.

SILVA, V. P. R. *et al.* Uma medida de sustentabilidade ambiental: pegada hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 1, p. 100-105, Jan. 2013. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662013000100014&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 25 Jun. 2019. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000100014>.

STRASBURG, V. J.; JAHNO, V. D. Sustentabilidade de cardápio: avaliação da pegada hídrica nas refeições de um restaurante universitário. **Ambiente & Água**, Taubaté, v. 10, n. 4, p. 903-914, out-dez 2015.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Recursos Hídricos no século XXI**. São Paulo: Oficina de Texto, 2011.

UFSCAR – UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS. **Apresentação**. *Campus Sorocaba*, 2019. Disponível em: <<https://www.sorocaba.ufscar.br/>>. Acesso em: 28 agosto 2019.

UNIVERSIDADE DA CALIFÓRNIA. Annual Report on Sustainable Practices. UC Berkeley. Berkeley. 2019.

USP – UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Considerações para o aproveitamento de águas pluviais**. Programa de uso racional da água da Universidade de São Paulo (PURA/USP). São Paulo, p. 24. 2011. Disponível em: http://www.sef.usp.br/wp-content/uploads/sites/52/2015/08/PUERHE_Água-Consid_AAP_set11.pdf. Acesso em: 16 mai 2020.

VIEBAHN, P. An environmental management model for universities: from environmental guidelines to staff involvement. **Journal Cleaner Production**. v. 10, p. 3-12, 2002.

WACKERNAGEL, M.; REES, W. E. **Our ecological footprint: Reducing human impact on the Earth**. Gabriola Island, B.C., Canada: New Society Publishers, 1996.

ZHUO, L.; MEKMONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. **Water footprint and virtual water trade of China: Past and future**. Value of Water Research Report Series n°. 69. UNESCO-IHE. Delft, the Netherlands. p. 70. 2016.

4 CAPÍTULO 3 - PEGADA DE ESCASSEZ HÍDRICA DE UM CAMPUS UNIVERSITÁRIO: UM ESTUDO DE CASO.

Resumo: A disponibilidade de água é uma questão que coloca o mundo em alerta. O aumento da demanda e a distribuição irregular da água proporciona déficit hídrico em diversas regiões no mundo. A comunidade científica tem buscado desenvolver ferramentas capazes de avaliar o impacto do uso da água pelo homem, onde recentemente a comunidade de Avaliação do Ciclo de Vida tem alcançado o consenso no uso do método que avalia a escassez hídrica no uso da água, o indicador representa a quantidade de água restante por área após o atendimento da demanda de consumo humano e ambiental e indica o potencial de privação de água a outro usuário em m^3 eq. O método foi aplicado em um campus universitário localizado na Bacia do Rio Sorocaba, o qual apresenta estresse hídrico. Foram simulados cenários em caso de expansão das atividades no campus concomitantemente à variação da vazão média anual. Verificou-se escassez hídrica entre maio e novembro em todos os cenários simulados, com os piores panoramas nos meses de setembro e outubro. A pegada de escassez hídrica da IFES foi de 9913 m^3 eq. no ano. A expansão da instituição pode comprometer o abastecimento de água dos bairros ao redor do *campus* em períodos de estiagem, sugere-se que a gestão da instituição considere a captação da água da chuva com construção de cisternas para armazenamento no caso de expansão do *campus*, a implantação da água de reuso e a implantação de um programa de conservação de água para reduzir o consumo na Instituição.

Palavra-chave: Método AWaRe. ISO 14046. Gestão de Recursos Hídricos.

Abstract: *Water scarcity is a growing problem in the world. The increase in demand and the irregular distribution of water creates a water deficit in several regions around the world. The scientific community has sought to develop tools capable of assessing the impact of water use by man, recently the Life Cycle Assessment community has reached consensus on the use of the method that assesses water scarcity in the use of water, the indicator represents the amount of water remaining per area after meeting the demand for human and environmental consumption and indicates the potential for water deprivation to another user in m^3 eq. The method was applied in a university campus located in the Sorocaba River Basin, which presents water stress. Scenarios were simulated in case of expansion of activities on campus concomitantly with the variation of the average annual flow. Water shortages were observed between May and November in all simulated scenarios, with the worst panoramas in the months of September and October. The IFES water scarcity footprint was 9913 m^3 eq. in the year. The expansion of the institution may compromise the water supply of neighborhoods around the campus in periods of drought, it is suggested that the institution's management consider the capture of rainwater with the construction of cisterns for storage in the event of expansion of the campus.*

Keyword: *AWaRe method. ISO 14046. Water Resources Management.*

4.1 INTRODUÇÃO

A escassez de água é reconhecida como uma grande preocupação ambiental no mundo. O crescimento populacional, as mudanças climáticas e os processos industriais têm gerado conflito de forma significativa entre diferentes usuários em várias regiões do mundo. Um terço da população

mundial vive em regiões sob escassez hídrica com previsões de piora em um cenário futuro (WWAP, 2014).

Portanto, melhorar o gerenciamento desse recurso é considerado um grande desafio que afeta diversos atores da sociedade. A comunidade científica tem se esforçado nos últimos anos para desenvolver ferramentas e metodologias para investigar os impactos do uso da água e desenvolver estratégias adequadas de gestão que têm sido cada vez mais aplicados para diversos fins, como a comunicação do desempenho relacionado à água e a análise de alternativas para minimizar o uso consuntivo e degradado da água e os impactos e riscos relacionados (BOULAY *et al.*, 2015a; MAZZI, MANZARDO e SCIPIONI, 2014; PFISTER e RIDOUTT, 2014).

Uma das ferramentas desenvolvidas quem vem ganhando espaço é a pegada hídrica, que recentemente foi padronizada pela *International Organization for Standardization* (ISO) sobre a abordagem do ciclo de vida. Esta ferramenta tem o intuito de promover a consistência e a transparência na avaliação das pegadas hídricas de organizações, governos e demais interessados de forma geral (ABNT, 2017).

As universidades desenvolvem várias atividades com potencial impacto diretos e indiretos no meio ambiente, inclusive aos recursos hídricos (ALSHUWAIKHAT e ABUBAKAR, 2008). A ferramenta pegada hídrica pode ajudar aos gestores das universidades à reduzirem estes potenciais impactos relacionados ao uso da água se aplicados corretamente. Há poucas pesquisas na abordagem ACV relacionadas à pegada hídrica (ISO 14046) em instituições de ensino, a maior parte da literatura aborda a avaliação da pegada ambiental, ecológica e de carbono em universidades pelo mundo (GU *et al.* 2019; LO-IACONO-FERREIRA, TORREGROSA-LÓPEZ e CAPUZ-RIZO, 2016; LO-IACONO-FERREIRA, CAPUZ-RIZO e TORREGROSA-LÓPEZ, 2016; LARSEN *et al.*, 2013; OZAWA-MEIDA *et al.*, 2013; TOWNSEND E BARRETT, 2015; LI, TAN e RACKES, 2015; GÓMEZ, CARDOSO e MONSALVE, 2016).

Para suprir esta lacuna, este trabalho objetiva realizar a avaliação da pegada de escassez hídrica de um *campus* Universitário de uma Instituição de Ensino Brasileira, localizado em uma região a qual apresenta estresse hídrico, como suporte para tomada de decisões quanto ao cenário atual e futuro, utilizando a abordagem da pegada hídrica segundo o pensamento do ciclo de vida.

4.2 REVISÃO DE LITERATURA

O uso da água na abordagem da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) era limitado, os dados do inventário continham poucas informações da fonte da água e não eram explorados os efeitos no ambiente decorrentes da diminuição da qualidade e disponibilidade hídrica (KOUNINA *et al.*,

2013; BAYART *et al.*, 2010; KOEHLER, 2008; KOEHLER e AOUSTIN, 2008; LANDU e BRENT, 2006; RALUY *et al.*, 2005). Em 2007, foi criado o grupo de trabalho denominado *Water Use Life Cycle Assessment – WULCA* com o objetivo de definir uma estrutura geral para avaliar o uso da água de ponto médio (*midpoint*) na Avaliação do Ciclo de Vida. Recentemente, o grupo obteve o consenso sobre o método para o cálculo do índice de escassez hídrica para uso da água (BOULAY *et al.*, 2018).

Com a participação substancial do Grupo WULCA, foi criada a norma que estruturou a avaliação da pegada hídrica na abordagem da ACV, a ISO 14046:2014. A norma tem como base a ISO 14044:2009 e define a estrutura geral para avaliar o uso da água na ACV. Em 2017, a ISO foi publicada em português pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR ISO 14046:2017).

Os trabalhos publicados utilizando a norma estão concentradas na produção de produtos (MARZULLO, 2014; SEMMENS, BRAS e GULDBERG, 2014; MANZARDO *et al.*, 2016; RIDOUTT e HODGES, 2017; KISS, DINATO e FERNANDES, 2018; YANG *et al.*, 2019; USVA *et al.*, 2019), serviços (BOULAY *et al.*, 2015b; VALLEJO, 2015; BADRUZZAMAN *et al.*, 2017), na agricultura (DE FIGUEIREDO *et al.*, 2014; CARNEIRO *et al.*, 2019; MUNGKUNG *et al.*, 2019) e com foco na dieta e saúde dos consumidores (RIDOUTT, HENDRIE e NOAKES, 2017; RIDOUTT *et al.*, 2019).

Na abordagem das instituições de ensino foi encontrada apenas uma aplicação pelos autores Lo-Iacono-Ferreira, Torregrosa-López e Capuz-Rizo (2017), onde utilizaram a ISO 14046 como parte de uma Avaliação do Ciclo de Vida Organizacional adequada para instituições de ensino superior com sistemas de gestão ambiental na Espanha. Contudo, não foram encontrados trabalhos abordando este tema em instituições de ensino no Brasil.

4.3 MÉTODOS

A pegada hídrica avalia o impacto ambiental potencial relacionado à água sob a perspectiva de ciclo de vida. A metodologia se divide em quatro etapas: I) definição de objetivo e escopo, II) análise do inventário de ciclo de vida, III) avaliação dos impactos ambientais do ciclo de vida e IV) interpretação dos resultados, as quais são brevemente descritas abaixo.

4.3.1 Definição de objetivo e escopo

Nessa primeira fase da análise, deve-se definir a aplicação que se pretende realizar. Uma avaliação da pegada hídrica abrangente segundo a ISO 14046:2017 requer um número elevado de dados, entretanto a unidade estudada ainda não possui informações sobre o uso da água nos diversos processos internos da Universidade. Com isso, para este estudo as informações disponibilizadas foram suficientes para a avaliação de pegada de escassez hídrica. Para isto, foi utilizado o método AWaRe, recentemente consolidado pela comunidade WULCA (BOULAY *et al.*, 2018), para a avaliação do impacto ambiental do consumo direto da água pela Instituição, com objetivo de dar suporte aos tomadores de decisão da IFES.

A fronteira do sistema foi na abordagem do portão ao portão, a unidade funcional e o fluxo de referência de 1 m³ de água utilizado no *campus* Sorocaba da UFSCar, localizado na bacia do rio Sorocaba, interior do Estado de São Paulo, Brasil, para o ano de 2019. O uso consuntivo do *campus* Sorocaba foi obtido junto ao Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Sorocaba (SAAE) multiplicado pelo coeficiente de retorno para consumo humano (0,80) segundo ANA (2013). Os dados sobre a disponibilidade e demanda hídrica da bacia do rio Sorocaba foram regionalizados segundo Abreu e Tonello (2017 e 2018) que calcularam a demanda humana e a vazão no exutório da bacia do Rio Sorocaba, ANA (2017) que disponibilizou a demanda por área (m²) da bacia e a demanda ambiental segundo Pastor *et al.* (2014), a qual a atribui uma porcentagem de demanda ambiental mensal de acordo com a disponibilidade hídrica anual da seguinte forma: a) se o fluxo mensal for menor que 40% do fluxo anual, atribui-se uma demanda ambiental de 60% da disponibilidade hídrica mensal; b) se o fluxo mensal estiver entre 40% e 80% do fluxo anual, atribui-se uma demanda ambiental de 45% da disponibilidade hídrica mensal; c) se o fluxo mensal for maior que 80% do fluxo anual, atribui-se uma demanda ambiental de 30% da disponibilidade hídrica mensal.

Para a análise de incerteza referente à qualidade dos dados foi aplicada a *matriz pedigree* que é uma avaliação qualitativa dos indicadores de qualidade desenvolvida por Weidema e Wesnaes (1996) e Althaus *et al.* (2004), onde os indicadores de qualidade dos dados recebem uma pontuação de 1 a 5, sendo 1 o melhor grau de qualidade e 5 o pior. Mais detalhes sobre a *matriz pedigree* estão disponíveis na seção 4.4.2 e no Apêndice IV.

4.3.2 Análise do Inventário da pegada

A segunda fase da avaliação da pegada hídrica é a análise do inventário e segue os procedimentos da ABNT NBR ISO 14044:2009. Envolve a coleta de dados e procedimentos de cálculo para quantificar as entradas e saídas de um sistema. Para o cálculo da pegada de escassez

hídrica, deve ser descrita a fonte e o volume de captação, tipo de uso, localização e aspecto geográfico.

4.3.2.1 Caracterização da área

O *campus* Sorocaba da Universidade Federal de São Carlos - UFSCar está localizado no interior do estado de São Paulo, Brasil. Possui clima tropical alternadamente seco e úmido segundo a classificação de Monteiro (1976). Está localizado na bacia do Rio Sorocaba (Fig.15) que pertence à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos número 10 (Fig.16) referente ao Rio Sorocaba Médio Tietê – UGRHI 10¹³, a terceira região mais industrializada do Estado, e também a terceira em déficit hídrico (DAMASCENO, *et al.*, 2014). E, segundo o último relatório do Comitê de Bacias da UGRHI 10 (2018)¹⁴, a sub-bacia é considerada como em estado de atenção e em algumas regiões em estado crítico, se agravando nas projeções futuras (CBHSMT, 2019).

¹³ Após a instituição da Política Estadual de Recursos Hídricos, o Estado de São Paulo foi dividido em 22 Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos – UGRHI pela Lei Estadual nº 9.034 de 27 de dezembro de 1994. A Região do Sorocaba-Médio Tietê é a unidade 10 dentre as 22.

¹⁴ Segundo Dos Santos *et al.* (2018) “Comitês de Bacia são entidades criadas para gestão dos recursos hídricos de forma participativa e descentralizadas e tem como um dos principais mecanismos de gestão o Plano de Bacia”.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

O *campus* possui 70 hectares de extensão e 50 mil m² de área construída. Há três centros acadêmicos – Centro de Ciências e Tecnologias para a Sustentabilidade (CCTS), Centro de Ciências Humanas e Biológicas (CCHB) e Centro de Ciências em Gestão e Tecnologia (CCGT), dois edifícios de aulas teóricas (AT01 e AT02), 78 laboratórios, três auditórios, biblioteca, restaurante universitário, lanchonete, ambulatório, quadra esportiva e pista de atletismo (UFSCAR, 2019). É abastecido por dois poços tubulares profundos com vazões de 9,68 m³ h⁻¹ e 15 m³ h⁻¹. A água é utilizada pelos diversos setores da Instituição, como laboratórios, limpeza, sanitários etc.

Foi considerando o coeficiente de retorno estimado por ANA (2013), de 0,8 da água captada para consumo humano, para o cálculo do uso consuntivo da água em m³/m², conforme descrito na tabela 4.

TABELA 4 - Água captada e a estimativa do uso consuntivo segundo ANA (2013).

Mês	M ³ captado/mês	Uso consuntivo em m ³ /mês
jan/19	3131	626
fev/19	3375	675
mar/19	4040	808
abr/19	3272	654
mai/19	3879	776
jun/19	3667	733
jul/19	3451	690
ago/19	3713	743
set/19	3316	663
out/19	3845	769
nov/19	3376	675
dez/19	3303	661
ANUAL	42368	8473

Fonte: Elaborado pela autora.

Em 2019 a população do *campus* era composta por 3.640 pessoas, incluindo alunos, docentes, técnicos administrativos e de laboratório, e colaboradores terceirizados (UFSCar, 2019).

4.3.3 Avaliação do Impacto da Pegada Hídrica

A avaliação do impacto é a terceira fase da análise da pegada hídrica sobre a abordagem da ACV. É a etapa “em que se mensura e avalia a significância dos impactos ambientais potenciais do sistema” (UGAYA, 2013, p.66). Para o cálculo da pegada de escassez hídrica seguindo a ISO 14046:2017 foi utilizado o método AWaRe que é um indicador de ponto médio do uso da água que avalia o potencial de privação de água. Ou seja, quanto menos água permanecer disponível por área,

maior a probabilidade de outro usuário ser privado. Dessa forma, o indicador representa a quantidade de água restante por área após o atendimento da demanda de consumo humano e ambiental (BOULAY *et al.*, 2018).

Primeiro calcula-se a disponibilidade hídrica da bacia menos a demanda humana e ambiental (AMD) relativa à área ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{mês}$). Posteriormente o valor é normalizado com o resultado da média mundial ($\text{AMD} = 0,0136 \text{ m}^3 \text{ m}^2 \text{ mês}$) e invertido e, portanto, representa o valor relativo em comparação com a média de m^3 consumida no mundo (a média mundial é calculada como uma média ponderada do consumo). Uma vez invertido, $1/\text{AMD}$ pode ser interpretado como um tempo equivalente à superfície para gerar água não utilizada nessa região. O indicador está limitado a um intervalo de 0,1 a 100, com um valor de 1 correspondente à média mundial e um valor de 10, por exemplo, representando uma região onde há 10 vezes menos água disponível restante por área do que a média mundial (BOULAY *et al.*, 2018).

A comunidade *WULCA* disponibiliza Fatores de Caracterização para todas as regiões do mundo, entretanto, os dados disponibilizados são da bacia do Rio Paraná, o qual compreende uma região muito extensa, composta por vários Estados brasileiros. Dessa forma, para atendimento em menor escala, os fatores de caracterização foram regionalizados (Fig. 20) com os dados da bacia do rio Sorocaba segundo Abreu e Tonello (2017 e 2018), ANA (2017) e os valores de demanda ambiental segundo Pastor *et al.* (2014). Após a regionalização foram gerados os dados descritos na tabela 5, e realizada a avaliação de sensibilidade com a projeção de três cenários. A análise de sensibilidade avalia o quanto as variações nos dados podem afetar o resultado (SILVA *et al.*, 2015). Com isso, foram projetados cenários considerando o quadro atual (3.640 pessoas) e a expansão gradual do *campus*, prevista no Plano Diretor da IFES (2006) de 8.700 e 10.000 pessoas respectivamente. Também foram projetados cenários com a vazão mínima e máxima anual da série climatológica conforme Tabela 6 e Figura 18.

4.3.4 Interpretação do Ciclo de Vida

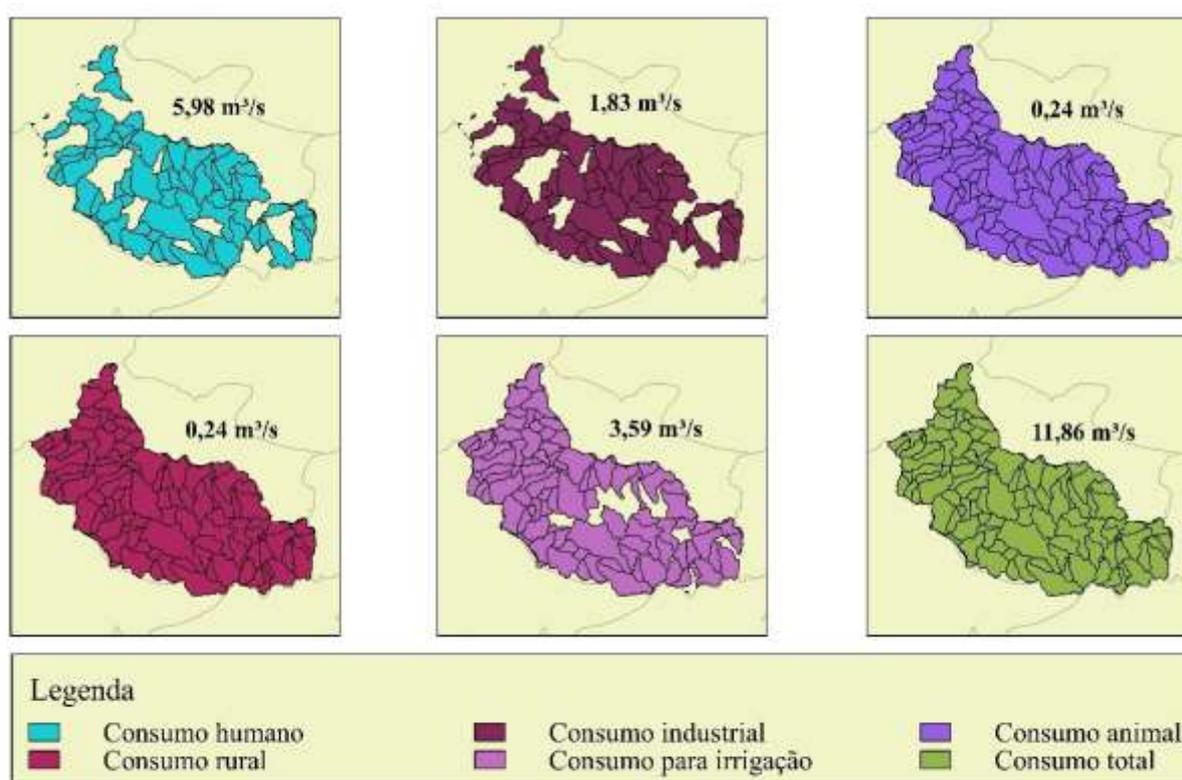
A interpretação do ciclo de vida é a última fase na qual as constatações da análise de inventário e da avaliação de impacto são estudadas em relação ao objetivo e escopo definidos anteriormente, com a finalidade de se chegar a conclusões, identificar as limitações e fazer as recomendações para o público-alvo determinado na fase de objetivo e escopo. Nesta pesquisa pretende-se identificar os pontos críticos sobre a disponibilidade hídrica da bacia e o consumo deste

recurso pelo *campus* Sorocaba para subsídio aos gestores da instituição em tomadas de decisão quanto a possível expansão do *campus*.

4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os dados disponibilizados por Abreu e Tonello (2018) e ANA (2017) foi possível identificar a demanda de consumo da bacia para atividades antrópicas conforme figura 17. Posteriormente foram calculadas as demandas ambientais segundo a disponibilidade hídrica da bacia publicadas por Abreu e Tonello (2017) (Tabela 6), seguindo a metodologia desenvolvida por Pastor *et al.* (2014).

FIGURA 17 - Demanda regionalizada (não engloba a demanda ambiental).



QGIS - Datum SIRGAS 2000
UTM 23 S
Base cartográfica ANA, 2017
Dados de Abreu e Tonello, 2017
Elaborado por Martins, 2020.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Com o fator de caracterização regionalizado, multiplicou-se o uso consuntivo da água e obteve-se Impacto de Escassez Hídrica m^3 eq. m^3 conforme demonstrado na tabela 5. Observou-se que entre os meses de maio e novembro ocorre a escassez hídrica, assim como na média anual, podendo impactar na disponibilidade hídrica de outro usuário.

TABELA 5 - Fatores de caracterização (FC) regionalizados e aplicados no *campus* Sorocaba.

Mês	Uso Consuntivo m ³	FC regionalizado	Impacto de Escassez Hídrica m ³ eq. m ³
Jan/19	626	0,31	192
Fev/19	675	0,41	278
Mar/19	808	0,53	429
Abr/19	654	0,73	478
Mai/19	776	1,46	1135
Jun/19	733	1,44	1059
Jul/19	690	1,41	971
Ago/19	743	1,83	1359
Set/19	663	1,96	1298
Out/19	769	1,64	1263
Nov/19	675	1,58	1069
Dez/19	661	0,58	384
Anual	8473		9913

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

4.4.1 Análise de sensibilidade

Para a análise de sensibilidade, foram projetados cenários para variar o consumo de água no *campus*, comparando a situação atual com a expansão prevista no plano diretor da instituição (8.700 e 10.000 pessoas).

Além da variação da demanda, foram simulados cenários com a variação da vazão média anual mínima e máxima identificada na série temporal de Abreu e Tonello (2017), adotando-se o ano de 2012 com a menor vazão média anual e o ano 2010 com a maior vazão média identificada para a regionalização do fator de caracterização, mantendo os valores de demanda antrópica. A Tabela 6 apresenta as vazões médias do posto fluviométrico Entre Rios (código 4E-001) localizado na cidade de Laranjal Paulista, exutório da bacia do Rio Sorocaba, publicado por Abreu e Tonello (2017).

TABELA 6 - Dados de vazão média do posto fluviométrico Entre Rios (4E-001) em m³ s⁻¹.

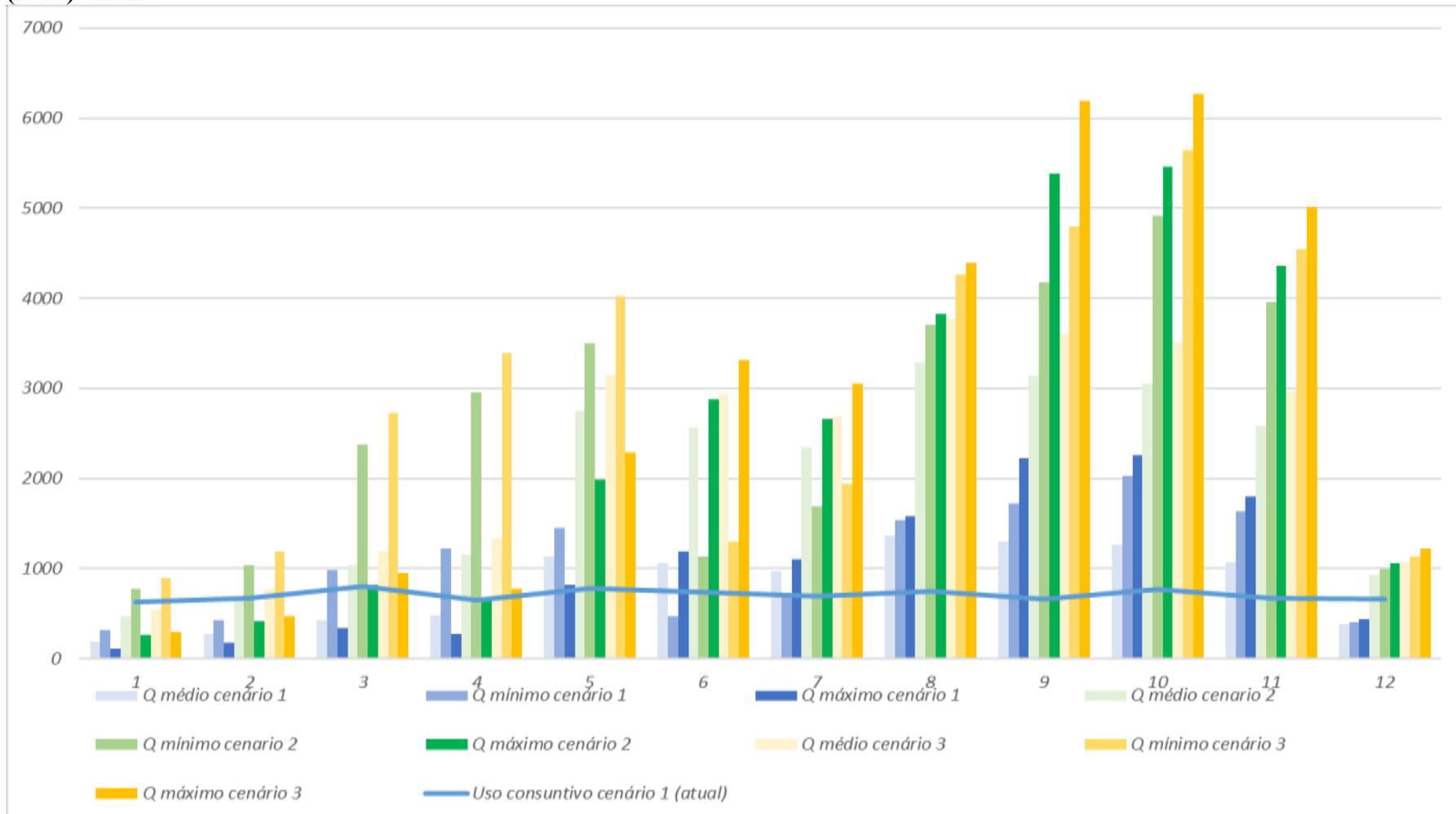
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
2006	87	95,9	71,8	85,6	38,3	33	41,4	25,6	29,6	30,3	30,7	58,9	52,4
2007	202,1	99,9	54,3	35,2	34,6	30,3	48,8	28,8	21,5	20,2	41	70,8	57,3
2008	71,7	121,4	76,3	69	70,7	52,1	31,7	42	27,6	38,3	37,1	29,6	55,6
2009	56,7	109,7	70,6	34,8	31,6	30	63,4	66,5	92,7	72,6	87,5	161,6	73,1
2010	225,5	170,5	94,7	96,5	55,1	40,3	39,9	32,3	24,5	26,1	28,3	62	74,6
2011	175,9	79,2	129,3	62	32,4	35,7	24,7	24	21,3	57,7	33,1	42,4	59,8
2012	78,6	71,3	36,2	26	35,5	87,5	57,3	33	28,8	27,9	30,2	66	48,2
Média	128,2	106,8	76,2	58,5	42,6	44,1	43,9	36	35,1	39	41,1	70,2	60,1

Fonte: Abreu e Tonello (2017).

Após a regionalização dos fatores de caracterização seguindo as vazões médias de 2012 (menor média anual) e 2010 (maior média anual), e a projeção dos cenários 01 (atual) com 3.640

peças, 02 com 8.700 pessoas e 03 com 10.000 pessoas, mantendo a demanda humana fixa e a demanda ambiental variando de acordo com a vazão média mensal e média anual segundo as proporções estabelecidos em Pastor *et. al* (2014), foram encontrados os valores representados na figura 18.

FIGURA 18 – Análise de sensibilidade com projeções estimadas de expansão do campus (cenário 1 – atual com 3.460 pessoas; cenário 2 projeção de 8.200 pessoas e cenário 3 com projeção de 10.000 pessoas) nas vazões média, mínima e máxima da série de Abreu e Tonello (2017) em m³.



Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Apesar do ano de 2012 representar a menor vazão média anual, nos meses de junho a dezembro ocorreram vazões superiores se comparadas ao mesmo período do ano de 2010, que possui a maior vazão média anual. Dessa forma, para os meses de junho a dezembro o impacto para 2012 apresenta melhores resultados se comparado com o mesmo período de 2010 e o pior para os meses de janeiro a maio, com maiores picos entre março e maio.

De forma geral, os meses de janeiro, fevereiro e dezembro não há impactos representativos na escassez referente ao uso da água pela instituição. Todavia, para os meses de agosto a novembro, os cenários 02 e 03 nas três vazões simuladas (média, mínima e máxima anual) impactam representativamente, indicando um alto potencial de privação de água para o período. Os resultados corroboram com Abreu e Tonello (2018) que identificaram o déficit hídrico na bacia.

4.4.2 Incertezas e limitações

Para a análise de incerteza referente à qualidade dos dados foi aplicada a *matriz pedigree* segundo Weidema e Wesnaes (1996) e Althaus *et al.* (2004), atribuindo a pontuação conforme a qualidade dos dados.

TABELA 7 - Atribuição dos fatores de incerteza dos dados do *campus* Sorocaba da UFSCar e da bacia do Rio Sorocaba.

Pontuação	Confiança	Completeza	Número de amostras	Correlação temporal	Correlação geográfica	Correlação tecnológica
1						1
2	1,05		1,02		1,01	
3				1,10		
4		1,10				
5						

Pontuação obtida com os dados do inventário do *campus* Sorocaba da UFSCar e de Abreu e Tonello (2017; 2018) da bacia do rio Sorocaba.

Fonte: Elaboração própria com base em ALTHAUS *et al.*, 2007; WEIDEMA e WESNAES, 1996.

Aplicando a matriz (ver Apêndice IV), obteve-se 15,6% de incerteza na qualidade dos dados. O fator principal foi o período curto da série temporal da vazão do rio, além da diferença temporal dos dados da bacia com o inventário da instituição. O estudo de Abreu e Tonello (2017 e 2018) abordam as vazões do rio para o período de 2006 a 2012 e a demanda antrópica com dados que variaram de 2010 a 2015. Já o uso consuntivo da instituição foi inventariado para o ano de 2019, determinando a porcentagem de incerteza dos dados. Mais detalhes sobre a *matriz pedigree* estão disponíveis no Apêndice IV.

4.5 CONCLUSÕES

Após a análise da pegada de escassez hídrica, pode-se concluir que o uso da água no *campus* Sorocaba possui alto potencial de privação de outro usuário para o período de estiagem, o qual compreende do mês de maio a novembro. Os piores cenários foram nos meses de setembro e outubro para os três parâmetros apresentados (população de 3.640, 8.200 e 10.000 pessoas), tanto para a vazão média da série fluviométrica, quanto para a menor e maior vazão média anual estudada.

A expansão da instituição pode comprometer o abastecimento de água dos bairros ao redor do *campus* em períodos de estiagem. A recomendação principal é que a construção da Estação de Tratamento de Esgoto seja finalizada para iniciar o sistema de reúso da água. No caso de expansão de novas edificações, recomenda-se aos gestores considerarem a possibilidade de captar água da chuva e a construção de cisternas para seu armazenamento.

Uma ação que pode ser adotada de forma imediata é a implantação de um programa de uso racional e conservação da água no *campus*. Assim como o controle do consumo de forma efetiva por prédio, podendo instituir metas de consumo e uma forma de bonificação para os que atingirem a meta estipulada.

REFERÊNCIAS

- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). ABNT NBR ISO 14046: 2017. **Gestão ambiental - Pegada Hídrica - Princípios, requisitos e diretrizes**. 1ª ed. Rio de Janeiro, 2017.
- _____. ABNT NBR ISO 14044:2009. **Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - requisitos e orientações**, Rio de Janeiro, 21 maio 2009.
- ABREU, M. C.; TONELLO, K. C. Avaliação dos Parâmetros Hidrometeorológicos na Bacia do Rio Sorocaba/SP. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 1, 99-109, 2017.
- ABREU, M. C.; TONELLO, K. C. Disponibilidade e demanda hídrica na bacia do rio Sorocaba, Brasil: um alerta à gestão dos recursos hídricos. **Soc. Nat.**, Uberlândia, MG, v.30, n.3, p. 209-232, dez. 2018.
- ALSHUWAIKHAT, H. M.; ABUBAKAR, I. An Integrated Approach to Achieving *Campus* Sustainability: Assessment of the Current *Campus* Environmental Management Practices. **Journal of Cleaner Production**, v.16, p.1777-1785, 2008.
- ALTHAUS H. *et al.* **Ecoinvent Report nº 1: Overview and Methodology**. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2004.
- ANA (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS). **Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos 2013**. Agência Nacional de Águas – ANA, Brasília: 2013, p. 252. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/todos-os-documentos-do-portal/documentos-sre/manual-de-outorga.pdf>. Acesso em: 10 maio 2019.
- _____. **Dados Abertos da Agência Nacional de Águas para Gestão de Recursos Hídricos**, 2017. Disponível em: <http://dadosabertos.ana.gov.br/>. Acesso em: 03 jan. 2020.
- BADRUZZAMAN, M. *et al.* Value Propositions of the Water Footprint Concept for Sustainable Water Utilities. **Journal - American Water Works Association**, 109 (9), setembro 2017. E393-E408.
- BAYART, J. B. *et al.* A framework for assessing off-stream freshwater use in LCA. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, p.439-453, 31 Mar. 2010.
- BOULAY, A. M. *et al.* Consensus building on the development of a stress-based indicator for LCA-based impact assessment of water consumption: Outcome of the expert workshops. **The International Journal of Life Cycle Assessment**. v. 20, p.577-583, 2015a.
- _____. Analysis of water use impact assessment methods (part B): applicability for water footprinting and decision making with a laundry case study. **The International Journal of Life Cycle Assessment**. v.20, p.865-879, 2015b.

_____. The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints: assessing impacts of water consumption based on available water remaining (AWARE). **The International Journal of Life Cycle Assessment**, 23, p.368-378, 2018.

CARNEIRO, J. M. *et al.* Carbon and water footprints of Brazilian mango produced in the semiarid region. **Int. J. Life Cycle Assessment** 24, 735–752, 2019.

CBHSMT (COMITE DA BACIA HIDROGRAFICA DO RIO SOROCABA E MÉDIO TIETÊ). **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos**. Sorocaba, 2019. Disponível em: http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/deliberation//CBH-MT/17500/relatorio-situacao-cbh-smt-2019-2018_versao_final.pdf. Acesso em: 10 fev. 2019.

DAMASCENO, A. F. *et al.* Observatório do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Sorocaba e Médio Tietê: um Projeto de Extensão Desenvolvido na UFSCar, *Campus Sorocaba*. **Rev. Cult. e Ext. USP.**, São Paulo, n. 12, p.109-123, nov. 2014. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/rce/article/view/86809>. Acesso em: 04 abr. 2019.

DE FIGUEIREDO, M. C. B. *et al.* Reducing the impact of irrigated crops on freshwater availability: the case of Brazilian yellow melons. **International Journal of Life Cycle Assessment**. v.19, n.2, p.437-448, 2014.

GÓMEZ, X.; CARDOSO, M. A.; MONSALVE, F. Carbon footprint of a university in a multiregional model: the case of the University of Castilla-La Mancha. **Journal of Cleaner Production**. v.138, p.119-130, 1 Dez. 2016.

GU, Y. *et al.* Quantification of interlinked environmental footprints on a sustainable university *campus*: A nexus analysis perspective. **Applied Energy**, v. 246, p. 65-76, 15 July 2019.

KISS, B. C. K.; DINATO, R.; FERNANDES, M. Pegada hídrica: uso do método AWaRe na gestão empresarial de recursos hídricos. **VI Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida**, Brasília, Junho 2018. p.136-141.

KOEHLER, A. Water use in LCA: managing the planet's freshwater resources. **Int J Life Cycle Assess**, Zurich, v. 13, p. 451-455, 2008.

KOEHLER, A.; Aoustin, E. **Life Cycle Initiative SETAC**. Project group on assessment of use and depletion of water resources within LCA, 2008. Disponível em: <<http://www.wulca-waterlca.org/pdf/wulca.pdf>>. Acesso em: 20 janeiro 2020.

KOUNINA, A. *et al.* Review of methods addressing freshwater use in life cycle inventory and impact assessment. **Int. J. Life Cycle Assess.**, p.707-721, 2013.

LANDU, L.; BRENT, A. C. Environmental life cycle assessment of water supply in South Africa: The Rosslyn industrial area as a case study. **Water SA**, 32(2), p.249-256. Abr. 2006. Disponível em: <<https://www.ajol.info/index.php/wsa/article/view/5250>>. Acesso em: 21 janeiro 2020.

LARSEN, H. N. *et al.* Investigating the Carbon Footprint of a University - The case of NTNU. **Journal of Cleaner Production**. v.48, p. 39-47, 2013.

LI, X.; TAN, H.; RACKES, A. Carbon footprint analysis of student behavior for a sustainable university *campus* in China. **Journal of Cleaner Production**. v.106, p.97-108, 2015.

LO-IACONO-FERREIRA, V. G., CAPUZ-RIZO, S. F., TORREGROSA-LÓPEZ, J. I. Ecological Footprint Assessment of Higher Education applying Life Cycle Assessment framework. Case study: Universitat Politècnica de València. **XX International Congress on Project Management and Engineering**, Cartagena, p. 1423–1432, 2016.

LO-IACONO-FERREIRA, V. G., TORREGROSA-LÓPEZ, J. I., CAPUZ-RIZO, S. F. Use of life cycle assessment methodology in the analysis of ecological footprint assessment results to evaluate the environmental performance of universities. **Journal of Cleaner Production**. v.133, p.43–53, 2016.

_____. Organizational life cycle assessment: suitability for higher education institutions with environmental management systems. **The International Journal of Life Cycle Assessment**. v. 22, n.12, p.1928-1943, 2017.

_____. The use of carbon footprint as a key performance indicator in higher education institutions. **22nd International Congress on Project Management and Engineering**, Madrid, p. 1291-1303, 11th-13th July 2018.

MANZARDO, A. *et al.* Lessons learned from the application of different water footprint approaches to compare different food packaging alternatives. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, 2016. p. 4657-4666.

MARZULLO, R. C. M. **Metodologia para o cálculo da pegada hídrica ecotoxicológica de produtos dentro de uma perspectiva de ACV com uso do GIS: Estudo Piloto para o Etanol Hidratado**. Repositório USP, 2014. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/106/106131/tde-20062016-151922/pt-br.php>>. Acesso em: 20 novembro 2019.

MAZZI, A.; MANZARDO, A.; SCIPIONI, A. Water Footprint to Support Environmental Management: An Overview. In: Salomone R., Saija G. (eds) **Pathways to Environmental Sustainability**. p.33-42, 2014.

MONTEIRO, C. A. F. **O clima e a organização do espaço no estado de São Paulo: problemas e perspectivas**. São Paulo: IGEOG/USP, 1976.

MUNGKUNG, R. *et al.* Water footprint inventory database of Thai rice farming for water policy decisions and water scarcity footprint label. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, 2019. p.2128-2139.

OZAWA-MEIDA, L. *et al.* Measuring carbon performance in a UK University through a consumption-based carbon footprint: De Montfort University case study. **Journal of Cleaner Production**. v.56, p.185-198, 01 out. 2013.

PASTOR, A. V. *et al.* Accounting for environmental flow requirements in global water assessments. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18, n. 12, 11 Dez. 2014. p. 5041–5059.

PFISTER, S.; RIDOUTT, B. G. Water Footprint: Pitfalls on Common Ground. *Environmental Science & Technology*. v.48, n.1, 4-4, 2014.

RALUY, R. G. *et al.* Life cycle assessment of water production technologies-Part 2: reverse osmosis desalination versus the Ebro River water transfer. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2005. p.346-354.

RIDOUTT, B. G. *et al.* Diet Quality and Water Scarcity: Evidence from a Large Australian Population Health Survey. *Nutrients*, 2019. p.1846.

RIDOUTT, B. G.; HENDRIE, G. A.; NOAKES, M. Dietary Strategies to Reduce Environmental Impact: A Critical Review of the Evidence Base. *Advances in Nutrition*, 8(6), Nov. 2017. p.933-946.

RIDOUTT, B.; HODGES, D. From ISO14046 to water footprint labeling: A case study of indicators applied to milk production in south-eastern Australia. *Science of the Total Environment*, 01 Dez. 2017. p.14-19.

SEMMENS, J.; BRAS, B.; GULDBERG, T. Vehicle manufacturing water use and consumption: an analysis based on data in automotive manufacturers' sustainability reports. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(1), Jan. 2014. p.246-256

SILVA, G. A. *et al.* **Avaliação do Ciclo de Vida**. Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia- Ibict, Brasília, 2015. Disponível em: <<http://acv.ibict.br/wp-content/uploads/2016/02/OntologiaACV-2.pdf>>. Acesso em: 04 fev. 2020

TOWNSEND, J.; BARRETT, J. Exploring the applications of carbon footprinting towards sustainability at a UK university: reporting and decision making. *Journal of Cleaner Production*, v. 107, p. 164-176, 16 Nov. 2015.

UFSCAR (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS). **Plano Diretor**. *Campus Sorocaba*, 2006.

_____. Apresentação. *Campus Sorocaba*, 2019. Disponível em: <<https://www.sorocaba.ufscar.br/>>. Acesso em: 28 agosto 2019

UGAYA, C. M. L. **Avaliação do Ciclo de Vida**. Paraná: Ecoinvent, 2013.

USVA, K. *et al.* Applying water scarcity footprint methodologies to milk production in Finland. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 24(2), 2019. 351-361.

VALLEJO, A. L. **Metodología Práctica para la Cuantificación de la Huella de Agua en Plantas Empacadoras de Banano en Costa Rica**. Escuela de Química, Instituto Tecnológico de Costa Rica: Catargo, 2015. p.108.

WEIDEMA B. P. and WESNAES M. S. Data Quality Management for Life Cycle Inventories - An Example of Using Data Quality Indicators. *Journal of Cleaner*

Production 4(3-4): 167-174. 1996

WWAP (UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME). **The United Nations World Water Development Report 2014: Water and Energy**. Paris, UNESCO, 2014.

YANG, D. *et al.* Environmental improvement of lead refining: a case study of water footprint assessment in Jiangxi Province, China. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, 24(8), 2019. 1533-1542.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na avaliação comparativa, ambas as metodologias têm limitações. A abordagem da ISO 14046:2017 não considera o uso da água verde na avaliação da pegada hídrica, e tem uma diversidade de métodos, tornando a escolha subjetiva, e há incertezas na avaliação de impacto no ponto final (*endpoint*) nas áreas de Proteção (meio ambiente, saúde humana e uso de recursos). Já a WFN não calcula o impacto da degradação da água, a metodologia estima o volume de água necessária para a diluição dos poluentes à níveis aceitáveis de qualidade, causando dúvidas quanto à pegada hídrica cinza. Desestimula a utilização de fatores de ponderação e é frágil na defesa do comércio virtual da água como política pública.

Contudo, na aplicação das metodologias no *campus*, as duas abordagens se mostraram eficientes na avaliação do impacto de escassez hídrica. O método AWaRe, segundo a ISO 14046:2017, representou maior sensibilidade para a escassez na base anual de 9.913 m³ eq. enquanto a WFN 7.881 m³ eq. Apesar dos meses de maio a novembro serem identificados como ponto crítico em ambas as metodologias, a média anual resultante do método AWaRe, evidenciou o estresse da bacia no ano, o que não ocorre na abordagem WFN.

Ambas as metodologias disponibilizam em sua base de dados ferramentas para aplicação da avaliação da pegada hídrica, entretanto as informações são de grandes bacias, como por exemplo, a bacia do Rio Paraná, que abrange vários estados brasileiros. Para um resultado mais preciso é necessária a regionalização, e ambos os métodos carecem de uma série elevada de dados para aplicação regionalizada, sobretudo o método AWaRe. Pois, são necessários dados como a disponibilidade hídrica da bacia, a demanda setorizada humana como demanda agrícola, industrial, para produção animal etc. por área por mês e a demanda ambiental mensal. Dessa forma, sugere-se para trabalhos futuros a regionalização de bacias para compor um inventário nacional do uso da água, fornecendo assim informações mais precisas para melhorar a gestão dos recursos hídricos no Brasil.

Como medidas de mitigar os impactos no uso da água pelo campus seria necessário o término da estação de tratamento de água para reuso, previsto no plano diretor da instituição em 2006, e a captação da água da chuva com construção de cisternas para armazenamento no caso de novas construções. Outra ação menos dispendiosa é o desenvolvimento e aplicação de práticas de manejo do solo nas áreas não impermeabilizadas como construção de barraginhas, caixas de captação de água nas estradas e por fim a criação de um programa de conservação e uso racional de água, envolvendo toda a comunidade acadêmica, com cartazes em pontos estratégicos para incentivar o uso racional e a definição de metas mensais ou anuais

estimulando o alcance da meta previamente estabelecida. Como medida de estímulo, a administração pode oferecer uma bonificação ou certificado para a administração responsável pelo prédio ou laboratório que bater a meta de redução de consumo no ano.

REFERÊNCIAS

ABBADE, E. B. Environmental impacts of food supply and obesogenic severity worldwide. **British Food Journal**, v. 117, n.12, p. 2863-2879, 2015.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). ABNT NBR ISO 14044:2009. **Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - requisitos e orientações**, Rio de Janeiro, 21 maio 2009.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). ABNT NBR ISO 14046: 2017. **Gestão ambiental - Pegada Hídrica - Princípios, requisitos e diretrizes**. 1ª ed. Rio de Janeiro, 2017.

ABRAHAO, R.; CARVALHO, M.; CAUSAPE, J. Carbon and water footprints of irrigated corn and non-irrigated wheat in Northeast Spain. **Environmental Science and Pollution Research**, v.24, n.6, p.5647-5653, 2017.

ABREU, D. C. *et al.* Economic and environmental implications of wheat-crop sequences on organic dairy-farm simulations. **Crop & Pasture Science**. v.67, n.11, p.1127-1138, 2016.

ABREU, M. C. **Avaliação hidrológica e relação entre disponibilidade e demanda hídrica na bacia hidrográfica do rio Sorocaba – SP**. 2015, 48 f. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade na Gestão Ambiental) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2015.

ABREU, M. C.; TONELLO, K. C. Avaliação dos Parâmetros Hidrometeorológicos na Bacia do Rio Sorocaba/SP. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 1, 99-109, 2017.

ABREU, M. C.; TONELLO, K. C. Disponibilidade e demanda hídrica na bacia do rio Sorocaba, Brasil: um alerta à gestão dos recursos hídricos. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, MG, v.30, n.3, p. 209-232, dez. 2018.

AGOSTINHO, F. *et al.* Influence of cellulase enzyme production on the energetic-environmental performance of lignocellulosic ethanol. **Ecological Modelling**. v.315, p. 46-56, 2015.

AGOSTINHO, F.; PEREIRA, L. Support area as an indicator of environmental load: Comparison between Embodied Energy, Ecological Footprint, and Emery Accounting methods. **Ecological Indicators**. v.24, p.494-503, 2013.

AIVAZIDOU, E. *et al.* The emerging role of water footprint in supply chain management: A critical literature synthesis and a hierarchical decision-making framework. **Journal of Cleaner Production**, v. 137, p. 1018-1037, Nov. 2016.

ALLAN, J. A. Policy responses to the closure of water resources. In: HOWSAM, P.; CARTER, R. C. **Water Policy: allocation and management in practice**. London: E&FN SPON, v. 1, 1996. Cap. 1, p. 03-12.

ALLAN, J. A. Virtual water: a strategic resource global solutions to regional deficits. **Ground Water**, London, v. 36, n. 4, p. 545-546, Jul. 1998.

ALLAN, T. Fortunately there are substitutes for water: otherwise our hydropolitical futures would be impossible. In: ODA Priorities for water resources allocation and management. London: **Natural Resources and Engineering Advices Conference**, v. 1, 1992. Cap. 2, p. 13-26.

ALLEGRETTI, G. *et al.* Environmental globalization: A Brazilian viewpoint on agribusiness and natural resources. **Journal of Agribusiness in Developing and Emerging Economies**. v. 8, n. 3, p.454-460, 2018.

ALSHUWAIKHAT, H. M.; ABUBAKAR, I. An integrated approach to achieving campus sustainability: assessment of the current campus environmental management practices. **Journal of Cleaner Production**, v.16, p. 1777-1785, 2008.

ALTAMIRANO, C. A. *et al.* A. Ethylic or methylic route to soybean biodiesel? Tracking environmental answers through life cycle assessment. **Applied Energy**. v.184, n. 8, p.1246-1263, 2016.

ALTHAUS, H. *et al.* **Ecoinvent Report N° 1: Overview and Methodology**. Swiss Centre for Life Cycle Inventories. Dübendorf, p. 1-77. 2007. Rolf Frischknecht, Niels Jungbluth (Editors).

ANA (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018: informe anual**. Agência Nacional de Águas – ANA, Brasília: 2018, p. 72. Disponível em: https://cebds.org/aquasfera/conjuntura-dos-recursos-hidricos-no-brasil-informe-2018-agencia-nacional-de-aguas-ana/?gclid=EAIAIQobChMIpfrwiZzh6QIVjYaRCh0pTQcxEAAYASAAEgJICPD_BwE. Acesso em: 22 maio 2019.

_____. **Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos 2013**. Agência Nacional de Águas – ANA, Brasília: 2013, p. 252. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/todos-os-documentos-do-portal/documentos-sre/manual-de-outorga.pdf>. Acesso em: 10 maio 2019.

_____. **Dados Abertos da Agência Nacional de Águas para Gestão de Recursos Hídricos**, 2017. Disponível em: <http://dadosabertos.ana.gov.br/>. Acesso em: 03 jan. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ABNT NBR ISO 14044:2009. **Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - requisitos e orientações**, Rio de Janeiro, 21 maio 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ABNT NBR ISO 14046: 2017. **Gestão ambiental - Pegada Hídrica - Princípios, requisitos e diretrizes**. 1ª ed. Rio de Janeiro, 2017.

AYALA, L. M. *et al.* Impact of agricultural expansion on water footprint in the Amazon under climate change scenarios. **Science of the Total Environment**. v.569, n. 1159-1173, 2016.

BADRUZZAMAN, M. *et al.* Value Propositions of the Water Footprint Concept for Sustainable Water Utilities. **Journal American Water Works Association**, v.109, n.9, p.39,-408, set. 2017.

BAI, X. *et al.* A comparative study of a full value-chain water footprint assessment using two international standards at a large-scale hog farm in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 176, p. 557-565, 2018.

BANNISTER, P.; MUNZINGER, M.; BLOOMFIELD, C. Water benchmarks for offices and public buildings. **Exergy**, Austrália, v. 2, n. 1, p. 1-24, 2005.

BARBOSA, E. A. A. *et al.* Water footprint of sugarcane irrigated with treated sewage and freshwater under subsurface drip irrigation, in Southeast Brazil. **Journal of Cleaner Production**. v. 153, n. 1, p. 448-456, 2017.

BAYART, J. B. *et al.* A framework for assessing off-stream freshwater use in LCA. **Int J Life Cycle Assess**, p.439-453, 31 Mar. 2010.

BICHUETI, R. S. *et al.* Water Use Management in the Mining Industry: A Comparison Based on Company Size. **Journal of Environmental Accounting and Management**. v.6, n.2, p. 135-147, 2018.

BORDONAL, R. D. *et al.* Sustainability of sugarcane production in Brazil. A review. **Agronomy for Sustainable Development**. v.38, n.2 (13), 2018.

BOTASSO, A. M.; LOUREIRO, E. M. M.; DIAS, P. C. **Gestão da água na área I do campus São Carlos da USP**. Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 70. 2014.

BOULAY, A. M. *et al.* Analysis of water use impact assessment methods (part B): applicability for water footprinting and decision making with a laundry case study. **The International Journal of Life Cycle Assessment**. v.20, p.865-879, 2015b.

_____. Consensus building on the development of a stress-based indicator for LCA-based impact assessment of water consumption: Outcome of the expert workshops. **The International Journal of Life Cycle Assessment**. v. 20, p.577-583, 2015a.

_____. The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints: assessing impacts of water consumption based on available water remaining (AWARE). **Int J Life Cycle Assess**, 23, p.368-378, 2018.

BOULAY, A. M.; HOEKSTRA, A. Y.; VIONNET, S. Complementarities of Water-Focused Life Cycle Assessment and Water Footprint Assessment. **Environ. Sci. Technol.**, v. 11927, n. 47, p. 11926, 2013.

BOULAY, A. M.; LENOIR, L. Sub-national regionalisation of the AWARE indicator for water scarcity footprint calculations. **Ecological Indicators**. v. 111, abr. 2020.

BRASIL. Plano Nacional de Recursos Hídricos. **Panorama e estado dos recursos hídricos do Brasil**. v. 1 / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. Brasília: MMA, 2006

BUENO, E. D.; DE MELLO, C. R.; ALVES, G. J. Evaporation from Camargos hydropower plant reservoir: water footprint characterization. RBRH - **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v.21. n.3, 2016.

CARNEIRO, J. M. *et al.* Carbon and water footprints of Brazilian mango produced in the semiarid region. **International Journal of Life Cycle Assessment**. v.24, n.4, p.735-752, 2019.

CASARIN, F.; SANTOS, M. **Água: o ouro azul usos e abusos dos recursos hídricos**. Coleção desafios do século XXI. ed. Rio de Janeiro: Garamond, v. 1, 2011.

CASTILLO, R. M. *et al.* Uncovering the Green, Blue, and Grey Water Footprint and Virtual Water of Biofuel Production in Brazil: A Nexus Perspective. **Sustainability**. v. 9, n.11, 2017.

CBHSMT (COMITE DA BACIA HIDROGRAFICA DO RIO SOROCABA E MÉDIO TIETÊ). **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos**. Sorocaba, 2019. Disponível em: http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/deliberation//CBH-MT/17500/relatorio-situacao-cbh-smt-2019-2018_versao_final.pdf. Acesso em: 10 fev. 2019.

CHAPAGAIN, A. K. *et al.* **The water footprint of cotton consumption**. UNESCO-IHE. Delft, p. 44. 2005.

_____. The water footprint of cotton consumption: an assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. **Ecological Economics**, p.186-203, 2006.

CHAPAGAIN, A. K.; HOEKSTRA, A. Y. The global component of freshwater demand and supply: an assessment of virtual water flows between nations as a result of trade in agricultural and industry. **Water International**, v. 33, n. 1, p. 19-32, 2008.

_____. The water footprint of coffee and tea consumption in the Netherlands. **Ecological Economics**, p. 109-118, 2007.

_____. **Water footprints of nations**. Value of Water Research Report Series n.16. UNESCO-IHE. DELFT. 2004.

CHAPAGAIN, A. K.; ORR, S. An improved water footprint methodology linking global consumption to local water resource: a case study of Spanish tomatoes. **Journal of Environmental Management**. p.1219-1228, 2009.

_____. **UK Water Footprint: The Impact of the UK's Food and Fibre Consumption on Global Water Resources**. WWF-UK. Godalming. 2008.

CHICO, D.; SANTIAGO, A. D.; GARRIDO, A. Increasing efficiency in ethanol production: Water footprint and economic productivity of sugarcane ethanol under nine different water

regimes in north-eastern Brazil. **Spanish Journal of Agricultural Research**. v. 13, n. 2, 2015.

CHOUCHANE, H.; HOEKSTRA, A. Y.; KROL, M. S.; MEKONNEN, M. M.. **Water footprint of Tunisia from an economic perspective**. Value of Water Research Report Series No. 61, UNESCO-IHE. Delph. 2013.

CIAMBRONE, D. F. **Environmental Life Cycle Analysis**. [S.l.]: CRC Press, 2018. 160 p.

COELHO, C. D. *et al.* Comparison of the water footprint of two hydropower plants in the Tocantins River Basin of Brazil. **Journal of Cleaner Production**. v.153, n.1, p.164-175, 2017.

COELHO, C. D. *et al.* Estimates of monthly and annual evaporation rates and evaporated volumes per unit time in the tucuruí-pa and lajeado-to hydroelectric power plant reservoirs based on different methods. **Engenharia Agrícola**. v.38, n.3, p. 38-46, 2018.

CONAMA (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE). Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. Estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e outros. **Diário Oficial da União**: nº 053, de 18/03/2005, p. 58-63. Disponível em: file:///C:/Users/manoe/Downloads/ResolucaoCONAMA_357-05.pdf. Acesso em: 02 abr. 2019.

COSTA, L.; NETO, J. A. Proposal for a water resource management strategy model using the water footprint concept. **Brazilian Journal of Operations & Production Management**. v.14, n.3, p.371-380, 2017.

CURRAN, M. A. **LIFE CYCLE ASSESSMENT: PRINCIPLES AND PRACTICE**. Scientific Applications International Corporation (SAIC), Ohio, Mai. 2006. Disponível em: <<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P1000L86.PDF?Dockey=P1000L86.PDF>>. Acesso em: 22 Jan. 2020.

DA SILVA, V. D. R. *et al.* A measure of environmental sustainability: Water footprint. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.17(2), n.1, p.100-105, 2013.

DA SILVA, V. D. R. *et al.* Integrated Environmental Footprint Index (IEFI): model development and validation. **Engenharia Agrícola**. v.37, n.5, p.918-927, 2017.

DA SILVA, V. D. R. *et al.* Measurements and modelling of water footprint of sugarcane cultivated in Paraíba State. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.19, n.6, p.521-526, 2015.

DA SILVA, V. D. R. *et al.* Water Footprint and Virtual Water Trade of Brazil. **Water**. v.8, n.11, 2016.

DAMASCENO, A. F. *et al.* Observatório do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Sorocaba e Médio Tietê: um Projeto de Extensão Desenvolvido na UFSCar, Campus Sorocaba. **Rev. Cult. e Ext. USP.**, São Paulo, n. 12, p.109-123, nov. 2014. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/rce/article/view/86809>. Acesso em: 04 abr. 2019.

DE FIGUEIREDO, M. C. B. *et al.* Reducing the impact of irrigated crops on freshwater availability: the case of Brazilian yellow melons. **International Journal of Life Cycle Assessment**. v.19, n.2, p.437-448, 2014.

DEPRA, M. C. *et al.* Microalgal Biorefineries for Bioenergy Production: Can We Move from Concept to Industrial Reality? **Bioenergy Research**. v.11, n.4, p.727-747, 2018.

EUROPEAN COMMISSION. **International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook. General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance**. First edition March 2010. Tradução de Luiz Marcos Vasconcelos. Primeira. ed. Luxembourg: Joint Research Centre, 2010.

EMPINOTTI, V.; JACOBI, P. R. **Pegada hídrica: inovação, corresponsabilização e os desafios de sua aplicação**. São Paulo: Annablume, 2012. p. 99-118.

EPA (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY). **Life-Cycle Assessment: Inventory Guidelines and Principles**. United States Environmental Protection Agency. [S.l.]. 1993.

FACHINELLI, N. P.; PEREIRA, A. O. Impacts of sugarcane ethanol production in the Paranaíba basin water resources. **Biomass & Bioenergy**. v.83(9), p.8-16, 2015.

GAWEL, E.; BERNSEN, K. What is Wrong with Virtual Water Trading? On the Limitations of the Virtual Water Concept. **Environment and Planning C: Politics and Space**, v.3, n.1, 01 jan. 2013.

GIACOMIN, G. S.; OHNUMA JR., A. A. Estimativa da pegada hídrica de um grupo de alunos de uma instituição de ensino superior. **Revista Internacional de Ciências**, v. 7, n. 1, p. 49-63, jan-jun 2017.

GODAR, J. *et al.* Balancing detail and scale in assessing transparency to improve the governance of agricultural commodity supply chains. **Environmental Research Letters**. v. 11, n.3, 2016.

GÓMEZ, X.; CARDOSO, M. A.; MONSALVE, F. Carbon footprint of a university in a multiregional model: the case of the University of Castilla-La Mancha. **Journal of Cleaner Production**. v.138, p.119-130, 1 Dez. 2016.

GU, Y. *et al.* Quantification of interlinked environmental footprints on a sustainable university campus: A nexus analysis perspective. **Applied Energy**, v. 246, 15 July 2019, p. 65-76.

HADDADIN, M. J. Exogenous water: A conduit to globalization of water resources. In: HOEKSTRA, A. Y. **Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade**. Value of Water Research Report Series nº. 12. 12. ed. Delft: UNESCO-IHE, v. 1, 2003. Cap. 11, p. 160-169.

HARDING, K.; MOFOMATE, B. F.; SELOTA, T. R. Water footprint of a mixed use laboratory/office building at the University of the Witwatersrand. Johannesburg. **Industrial and Mining Water Research Unit**, Witwatersrand, 2016.

- HATJIATHANASSIADOU, M *et al.* Environmental Impacts of University Restaurant Menus: A Case Study in Brazil. **Sustainability**. v.11, n.19, 2019.
- HERNANDES, T. A. D.; BUFON, V. B.; SEABRA, J. E. A. Water footprint of biofuels in Brazil: assessing regional differences. **Biofuels Bioproducts & Biorefining-BIOFPR**. v.8, n.2, p.241-252, 2014.
- HERRERA, M. V. S. *et al.* Estimation of virtual water use in Brazilian exports from 2003 to 2014. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**. v. 24(7), n.6, p. 1229-1238, 2019.
- HOEKSTRA, A. Y. *et al.* **Manual de Avaliação da Pegada Hídrica: estabelecendo um padrão global**. Tradução pelo Instituto de Conservação Ambiental The Nature Conservancy do Brasil em parceria com a Water Footprint Network. São Paulo: Water Footprint Network, 2011.
- HOEKSTRA, A. Y. Water Footprint Assessment: Evolvement of a New Research Field. **Water Resource Management**. v.31, p. 3061–3081, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1618-5>. Acesso em: 03 jul. 2020.
- HOEKSTRA, A. Y. **Water neutral: Reducing and offsetting the impacts of water footprints**. Value of Water Research Report Series nº 28, UNESCO-IHE. Delft, Netherlands. 2008.
- HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K. **Globalization of water: sharing the planet's freshwater resources**. 2. ed. Oxford: Blackwell Publishing, v. 1, 2008.
- HOEKSTRA, A. Y.; HUNG, P. Q. **Value of Water**. Relatório nº 11. IHE DELFT. Holanda, p. 120. 2002.
- HOEKSTRA, A. Y.; MEKONNEN, M. M. The water footprint of humanity. **PNAS**, Oakland, v. 109, n. 9, p. 3232-3237, fev. 2012.
- HOEKSTRA, A. Y.; MEKONNEN, M. M.; CHAPAGAIN A. K.; MATHEWS. R. E.; RICHTER. B. D. Global Monthly Water Scarcity: Blue Water Footprints versus Blue Water Availability. **Plos One**, EUA, v. 7, n. 2, p. 1-10, 2012.
- ISA (INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL). **Água doce e limpa: de “dádiva” à raridade**. Almanaque Brasil Socioambiental, 2014.
- KAMPMAN, D. A.; HOEKSTRA, A. Y.; KROL, M. S. **The water footprint of India**. Value of Water Research Report Series nº 32. UNESCO-IHE. Delft, Netherland. 2008.
- KANDANANOND, K. The energy related water footprint accounting of a public organization: the case of a public university in Thailand. **Energy Procedia**, Nagoya, v. 156, p. 149-153, 2019.
- KISS, B. C. K.; DINATO, R.; FERNANDES, M. Pegada hídrica: uso do método AWaRe na gestão empresarial de recursos hídricos. **VI Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida**, Brasília, Junho 2018. p.136-141.

KOEHLER, A. Water use in LCA: managing the planet's freshwater resources. **Int J Life Cycle Assess**, Zurich, v. 13, p. 451-455, 2008.

KOEHLER, A.; Aoustin, E. **Life Cycle Initiative SETAC**. Project group on assessment of use and depletion of water resources within LCA, 2008. Disponível em: <<http://www.wulca-waterlca.org/pdf/wulca.pdf>>. Acesso em: 20 janeiro 2020.

KOTSUKA, L.; BLENINGER, T. Evaluation of the concepts of virtual water and water footprint in water resources management: a case study of soybean and soybean oil.

Proceedings of the 36th

IAHR World Congress: Deltas of the future and what happens upstream. p.5896-5904, 2015.

KOUNINA, A. *et al.* Review of methods addressing freshwater use in life cycle inventory and impact assessment. **Int. J. Life Cycle Assess.**, p.707-721, 2013.

KUNDZEWICZ, Z.W., *et al.* **Freshwater resources and their management. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability.** Contribution of Working Group II

to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 173-210, 2007. Disponível em:

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar4_wg2_full_report.pdf. Acesso em 01 abril 2020.

LANDU, L.; BRENT, A. C. Environmental life cycle assessment of water supply in South Africa: The Rosslyn industrial area as a case study. **Water SA**, 32(2), p.249-256. Abr. 2006. Disponível em: <<https://www.ajol.info/index.php/wsa/article/view/5250>>. Acesso em: 21 janeiro 2020.

LARSEN, H. N. *et al.* Investigating the Carbon Footprint of a University - The case of NTNU. **Journal of Cleaner Production.** v.48, p. 39-47, 2013.

LATHUILLIERE, M. J. *et al.* Cattle production in Southern Amazonia: implications for land and water management. **Environmental Research Letters.** v. 14, n.11, 2019.

_____. Environmental footprints show China and Europe's evolving resource appropriation for soybean production in Mato Grosso, Brazil. **Environmental Research Letters.** v.9(6), n. 7, 2014.

_____. Evaluating Water Use for Agricultural Intensification in Southern Amazonia Using the Water Footprint Sustainability Assessment. **Water.** V.10, n.4, 2018.

LEAO, R. M. *et al.* Environmental and technical feasibility of cellulose nanocrystal manufacturing from sugarcane bagasse. **Carbohydrate Polymers.** v.175(13), 2017.

LI, X.; TAN, H.; RACKES, A. Carbon footprint analysis of student behavior for a sustainable university *campus* in China. **Journal of Cleaner Production.** v.106, p.97-108, 2015.

LIANG, X. *et al.* The nitrogen footprint for an Australian university: Institutional change for corporate sustainability. **Journal of Cleaner Production**, v. 197, (Part 1), 1 Oct. 2018, p. 534-541. doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.050.

LO-IACONO-FERREIRA, V. G., CAPUZ-RIZO, S. F., TORREGROSA-LÓPEZ, J. I. Ecological Footprint Assessment of Higher Education applying Life Cycle Assessment framework. Case study: Universitat Politècnica de València. **XX International Congress on Project Management and Engineering**, Cartagena, p. 1423–1432, 2016.

LO-IACONO-FERREIRA, V. G., TORREGROSA-LÓPEZ, J. I., CAPUZ-RIZO, S. F. Organizational life cycle assessment: suitability for higher education institutions with environmental management systems. **The International Journal of Life Cycle Assessment**. v. 22, n.12, p.1928-1943, 2017.

LO-IACONO-FERREIRA, V. G., TORREGROSA-LÓPEZ, J. I., CAPUZ-RIZO, S. F. Use of life cycle assessment methodology in the analysis of ecological footprint assessment results to evaluate the environmental performance of universities. **Journal of Cleaner Production**. v.133, p.43–53, 2016.

LO-IACONO-FERREIRA, V. G., TORREGROSA-LÓPEZ, J. I., CAPUZ-RIZO, S. F.. The use of carbon footprint as a key performance indicator in higher education institutions. **22nd International Congress on Project Management and Engineering**, Madrid, p. 1291-1303, 11th-13th July 2018.

LO-IACONO-FERREIRA, V. G., TORREGROSA-LÓPEZ, J. I.; CAPUZ-RIZO, S. F. Organizational life cycle assessment: suitability for higher education institutions with environmental management systems. **Int J Life Cycle Assessment**, v. 22, ed. 12, p.1928–1943, 2017.

MACK-VERGARA, Y. L.; JOHN, V. M. Life cycle water inventory in concrete production- A review. **Resources Conservation and Recycling**. v.122, p.227-250, 2017.

MANZARDO, A. *et al.* Lessons learned from the application of different water footprint approaches to compare different food packaging alternatives. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, 2016. p. 4657-4666.

MARENGO, J. A. Água e mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 83-96, jan-abr 2008.

MARINHO, M.; GONÇALVES, M. S.; KIPERSTOK, A. Water conservation as a tool to support sustainable practices in a Brazilian public university. **Journal of Cleaner Production**, Bahia, p.98-106, 2014.

MARQUES, L. **Capitalismo e colapso ambiental**. Campinas: UNICAMP, 2016.

MARTÍNEZ-ARCE, A. *et al.* Water Footprint (ISO 14046) in Latin America, State of the Art and Recommendations for Assessment and Communication. **Environments**, Basel, p.1-16, 2018.

MARTINS, A. L. P. *et al.* Scientific prospection on sustainability indexes used in agriculture. **Revista Geintec-Gestao Inovacao e Tecnologias**. v.8, n.2, p.4357-4368, 2018.

MARTINS, L. D. *et al.* Carbon and water footprints in Brazilian coffee plantations - the spatial and temporal distribution. **Emirates Journal of Food and Agriculture**. v. 30, n.6, p.482-487, 2018.

MARTINS, R. S. L. **Empresas e gestão da água: uma abordagem a partir do uso do indicador Pegada Hídrica**. (Tese de Doutorado) Universidade de São Paulo, 1, 2014. 178. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/106/106132/tde-18112014-182843/pt-br.php>. Acesso em: 07 ago. 2019.

MARZULLO, R. C. M. **Metodologia para o cálculo da pegada hídrica ecotoxicológica de produtos dentro de uma perspectiva de ACV com uso do GIS: Estudo Piloto para o Etanol Hidratado**. Repositório USP, 2014. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/106/106131/tde-20062016-151922/pt-br.php>>. Acesso em: 20 novembro 219.

MARZULLO, R. C. M.; MATAI, P. H. L. S. A pegada hídrica com abordagem de avaliação do ciclo de vida (ACV). In: EMPINOTTI, V.; JACOBI, P. R. (orgs.). **Pegada hídrica: inovação, corresponsabilização e os desafios de sua aplicação**. São Paulo: Annablume, 2012. p. 99-118.

MAUAD, F. F.; LIMA, G. Planejamento estratégico de sistemas hídricos. In: MARTINS, R. C.;

VALENCIO, N. F. S. **Uso e gestão dos recursos hídricos no Brasil: desafios teóricos e político-institucionais**. São Carlos: RiMa, 2003. Cap. 7, p. 99-126.

MAZZI, A.; MANZARDO, A.; SCIPIONI, A. Water Footprint to Support Environmental Management: An Overview. In: Salomone R., Saija G. (eds) **Pathways to Environmental Sustainability**. p.33-42, 2014.

MEKONNEN, M. M. *et al.* **Water Footprint Assessment for Latin America and the Caribbean: An analysis of the sustainability, efficiency and equitability of water consumption and pollution**. Value of Water Research Report Series n°. 66. UNESCO-IHE. DELFT, 2014.

_____. Water, Energy, and Carbon Footprints of Bioethanol from the US and Brazil. **Environmental Science & Technology**. v.52(14), n.24, p.14508-14518, 2018.

MEKONNEN, M. M.; FULTON, J. The effect of diet changes and food loss reduction in reducing the water footprint of an average American. **Water International**, v.43, n.6, p.860-870, 2018.

MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. Four billion people facing severe water scarcity. **Science Advances**, v. 2, n. 2, 05 fev. 2016. Disponível em: <https://advances.sciencemag.org/content/2/2/e1500323/tab-pdf>. Acesso em: maio de 2020.

MIRANDA, J. B.; VASCONCELOS, A. M.; FERREIRA, D. D. M. Pegada Hídrica de Estudantes Universitários De Santa Catarina. **RG&SA**, Florianópolis, v. 6, n. 2, p. 227-239, jul-set 2017.

MONTEIRO, C. A. F. **O clima e a organização do espaço no estado de São Paulo: problemas e perspectivas.** São Paulo: IGEOG/USP, 1976.

MOREIRA, R. S.; BARROS, S. D. S. PEGADA HÍDRICA DE CLASSES CONSUMIDORAS QUE COMPÕEM A ESCOLA ANTÔNIO LANDIM DE MACÊDO EM AURORA - CE. **Polêm!ca**, Maracanã, v. 15, n. 1, p. 18-27, abr-jun 2015.

MUNGKUNG, R. *et al.* Water footprint inventory database of Thai rice farming for water policy decisions and water scarcity footprint label. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, 2019. p.2128-2139.

NÚÑEZ, M., BOUCHARD, C. R.; BULLE, C.; BOULAY, A. M.; MARGNI, M. Critical analysis of life cycle impact assessment methods addressing consequences of freshwater use on ecosystems and recommendations for future method development. **The International Journal of Life Cycle Assessment**. 2016.

OEL, P. R.; HOEKSTRA, A. Y. **The green and blue water footprint of paper products: methodological considerations and quantification.** UNESCO-IHE. Institute for Water Education. Delft, the Netherlands, p. 36. 2010.

OEL, P. R.; MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. **The external water footprint of the Netherlands: Quantification and impact assessment.** UNESCO-IHE. Delft, Netherlands. 2008.

OLIVEIRA, L. H.; GONÇALVES, O. M. **Metodologia para implantação de programa de uso racional de água em edifícios.** EPUSP. São Paulo. 1999.

OZAWA-MEIDA, L. *et al.* Measuring carbon performance in a UK University through a consumption-based carbon footprint: De Montfort University case study. **Journal of Cleaner Production**. v.56, p.185-198, 01 out. 2013.

PAHLOW, M.; KROL, M. S.; HOEKSTRA, A. Y. **Assessment of measures to reduce the water footprint of cotton farming in India.** Value of Water Research Report Series n°. 68. UNESCO-IHE. Delft, the Netherlands, p. 76. 2015.

PALHARES, J. C. P. Water footprint of swines and the impact of nutritional strategies. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.18, n.5, p.533-538, 2014.

PALHARES, J. C. P.; MORELLI, M.; COSTA, C. Impact of roughage-concentrate ratio on the water footprints of beef feedlots. **Agricultural Systems**. v.155, p.126-135, 2017.

PALHARES, J. C. P.; PEZZOPANE, J. R. M. Water footprint accounting and scarcity indicators of conventional and organic dairy production systems. **Journal of Cleaner Production**. v.93, p.299-307, 2015.

PARAIBA, L. C. *et al.* A mathematical model to estimate the volume of grey water of pesticide mixtures. **Spanish Journal of Agricultural Research**. v. 12, n.2, p.509-518, 2014.

PASTOR, A. V. *et al.* Accounting for environmental flow requirements in global water assessments. **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, 18, n. 12, 11 Dez. 2014. p. 5041–5059.

PATRÍCIO, M. C. M. *et al.* Comparação da pegada hídrica entre classes consumidoras que compõem o campus universitário da Universidade Federal de Campina Grande/PB. **POLÊMICA**. Maracanã, v. 12, n. 2, p. 1267-1279, abr-jun 2013.

PEREIRA, C. H. *et al.* Grazing supplementation and crop diversification benefits for southern Brazil beef: A case study. **Agricultural Systems**. V.162, p.1-9, 2018.

PFISTER, S. Understanding the LCA and ISO water footprint: A response to Hoekstra (2016) "A critique on the water-scarcity". **Ecological Indicators**, 2017. p. 352-359.

PFISTER, S.; RIDOUTT, B. G. Water Footprint: Pitfalls on Common Ground. **Environmental Science & Technology**. v.48, n.1, 4-4, 2014.

PINTO, N. L. S. *et al.* **Hidrologia básica**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blucher, v. 1, 1976.

PINTO-COELHO, R. M.; HAVENS, K. **Gestão de recursos hídricos em tempo de crise**. 1. ed. Porto Alegre: Artmed, v. 1, 2016.

PIRES, L. F. *et al.* Water footprint in industries: A systematic bibliographical survey from 2011 to 2016. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v. 11, n. 4, p. 1217-1237, out/dez 2018.

RALUY, R. G. *et al.* Life cycle assessment of water production technologies-Part 2: reverse osmosis desalination versus the Ebro River water transfer. **Int J LCA**, 2005. p.346-354.

RIDOUTT, B. G. *et al.* Diet Quality and Water Scarcity: Evidence from a Large Australian Population Health Survey. **Nutrients**, 2019. p.1846.

RIDOUTT, B. G.; HENDRIE, G. A.; NOAKES, M. Dietary Strategies to Reduce Environmental Impact: A Critical Review of the Evidence Base. **Advances in Nutrition**, 8(6), Nov. 2017. p.933-946.

RIDOUTT, B.; HODGES, D. From ISO14046 to water footprint labeling: A case study of indicators applied to milk production in south-eastern Australia. **Science of the Total Environment**, 01 Dez. 2017. p.14-19.

ROCHA, G. O.; ANJOS, J. P.; ANDRADE, J. B. Energy trends and the water-energy binomium for Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. V.87, n.2, p.569-594, 2015.

RODRIGUEZ, R. D. *et al.* Biofuel-water-land nexus in the last agricultural frontier region of the Brazilian Cerrado. **Applied Energy**. v.231, p.1330-1345, 2018.

ROY, A.; DAS, D.; PRAMANICK, K. Estimation of water footprint (WF) of eden hindu hostel: a first glimpse of consumption pattern of hostel students of an urban university in India. **Environmental Impact on Biodiversity and Plant Development**, West Bengal, fev. 2015.

SANTOS, J. N. S. *et al.* Pegada hídrica de classes consumidoras que integram a escola José Dias Guarita em Monte Horebe-PB. **Anais IV CONEDU**, João Pessoa, v. 1, p. 1-11, nov. 2017.

SCARPARE, F. V. *et al.* Sugarcane water footprint under different management practices in Brazil: Tiete/Jacare watershed assessment. **Journal of Cleaner Production**. v. 112, n. 5, p.4576-4584, 2016.

SEMMENS, J.; BRAS, B.; GULDBERG, T. Vehicle manufacturing water use and consumption: an analysis based on data in automotive manufacturers' sustainability reports. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, 19(1), Jan. 2014. p.246-256

SILVA, A. K. P. **Pegadas hídrica e de carbono da água de coco no Ceará**. 2017. 91 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

SILVA, G. A. *et al.* **Avaliação do Ciclo de Vida**. Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia- Ibict, Brasília, 2015. Disponível em: <<http://acv.ibict.br/wp-content/uploads/2016/02/OntologiaACV-2.pdf>>. Acesso em: 04 fev. 2020

SILVA, V. P. R. *et al.* Uma medida de sustentabilidade ambiental: pegada hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 1, p. 100-105, Jan. 2013. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662013000100014&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 25 Jun. 2019.

SORIANO, E. *et al.* Crise hídrica em São Paulo sob o ponto de vista dos desastres. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, XIX, jan-mar 2016. p.21-42.

SOUSA, V. M. Z. *et al.* Life cycle assessment of biodiesel production from beef tallow in Brazil. **International Journal of Life Cycle Assessment**. v.22, n.11, p.1837-1850, 2017.

STRASBURG, V. J.; JAHNO, V. D. Application of eco-efficiency in the assessment of raw materials consumed by university restaurants in Brazil: A case study. **Journal of Cleaner Production**. v.161, p.178-187, 2017.

STRASBURG, V. J.; JAHNO, V. D. Sustentabilidade de cardápio: avaliação da pegada hídrica nas refeições de um restaurante universitário. **Ambiente & Água**, Taubaté, v. 10, n. 4, p. 903-914, out-dez 2015.

TAFFARELLO, D. *et al.* Modeling freshwater quality scenarios with ecosystem-based adaptation in the headwaters of the Cantareira system, Brazil. **Hydrology and Earth System Sciences**. v. 22, n.9, p.4699-4723, 2018.

TAYT'SOHN, F. C. O.; NUNES, A. M. B.; PEREIRA, A. O. Assessing sugarcane expansion to ethanol production under climate change scenarios in Paranaíba river basin – Brazil. **Biomass & Bioenergy**. v.119, p. 436-445, 2018.

TEDESCHI, L. O. *et al.* A glimpse of the future in animal nutrition science. 1. Past and future challenges. **Revista Brasileira de Zootecnia**. V.46, n.5, p.438-451, 2017.

TOWNSEND, J.; BARRETT, J. Exploring the applications of carbon footprinting towards sustainability at a UK university: reporting and decision making. **Journal of Cleaner Production**, v. 107, p. 164-176, 16 Nov. 2015.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Recursos Hídricos no século XXI**. São Paulo: Oficina de Texto, 2011.

UFSCAR (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS). **Apresentação**. Campus Sorocaba, 2019. Disponível em: <<https://www.sorocaba.ufscar.br/>>. Acesso em: 28 agosto 2019.

_____. **Plano Diretor**. Campus Sorocaba, 2006.

UGAYA, C. M. L. **Avaliação do Ciclo de Vida**. Paraná: Ecoinvent, 2013.

UNIVERSIDADE DA CALIFÓRNIA. **Annual Report on Sustainable Practices**. UC Berkeley. Berkeley. 2019.

USP – UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Considerações para o aproveitamento de águas pluviais**. Programa de uso racional da água da Universidade de São Paulo (PURA/USP). São Paulo, p. 24. 2011. Disponível em: http://www.sef.usp.br/wp-content/uploads/sites/52/2015/08/PUERHE_Água-Consid_AAP_set11.pdf. Acesso em: 16 mai 2020.

USVA, K. *et al.* Applying water scarcity footprint methodologies to milk production in Finland. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, 24(2), 2019. 351-361.

VALE, R. L. *et al.* Assessment of the gray water footprint of the pesticide mixture in a soil cultivated with sugarcane in the northern area of the State of Pernambuco, Brazil. **Journal of Cleaner Production**. v. 234, p.925-932, 2019.

VALLEJO, A. L. **Metodología Práctica parala Cuantificación dela Huella de Agua en Plantas Empacadoras de Banano en Costa Rica**. Escuela de Química, Instituto Tecnológico de Costa Rica: Catargo, 2015. p.108.

VIEBAHN, P. An environmental management model for universities: from environmental guidelines to staff involvement. **Journal Cleaner Production**. v. 10, p. 3-12, 2002.

VISENTIN, J. C.; GUILHOTO, J. J. M. The Role of Interregional Trade in Virtual Water on the Blue Water Footprint and the Water Exploitation Index in Brazil. **Review of Regional Studies**. v.49, n.2, p.299-322, 2019.

VOSS, M. *et al.* Feasibility of paper microzone plates for greener determination of the alcoholic content of beverages by thermal infrared enthalpimetry. **Analytical Methods**. v.11, n.39, p.4983-4990, 2019.

WACKERNAGEL, M.; REES, W. E. **Our ecological footprint: Reducing human impact on the Earth**. Gabriola Island, B.C., Canada: New Society Publishers, 1996.

WULCA (WATER USE LIFE CYCLE ASSESSMENT). **Water Footprint in LCA**, 2020. Disponível em: <<http://www.wulca-waterlca.org/footprinting.html>>. Acesso em: 25 jan. 2020.

WEF (World Economic Forum). 2019. **The Global Risks Report 2020**. 15 ed. Geneva, 2020. Disponível em: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risk_Report_2020.pdf. Acesso em 17 ago 2020.

WEIDEMA, P.; WESNAES, M. S. Data quality management for life cycle inventories-an example of using data quality indicators. **Journal Cleaner Production**, Grã-Bretanha, 4, n. 3-4, 1996. 167-174. Disponível em: <periodicos.capes.gov.br>. Acesso em: 28 janeiro 2020

WICHELNS, D. Virtual water and water footprints: Overreaching into the discourse on sustainability, efficiency, and equity. **Water Alternatives**, 8(3): 396-414, 2015.

WOJCIKIEWICZ, C. A. *et al.* Gray water footprint of whiteleg shrimp intensive pond systems in brackish water. **Boletim do Instituto de Pesca**. v.43, n. 3, p.426-436, 2017.

WWAP (UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME). **The United Nations World Water Development Report 2014: Water and Energy**. Paris, UNESCO, 2014.

YANG, D. *et al.* Environmental improvement of lead refining: a case study of water footprint assessment in Jiangxi Province, China. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, 24(8), 2019. 1533-1542.

YEH, S. *et al.* Evaluation of water use for bioenergy at different scales. **Biofuels Bioproducts & Biorefining-BIOFPR**. v.5(1), n. 4, p. 361-374, 2011.

ZHUO, L.; MEKMONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. **Water footprint and virtual water trade of China: Past and future**. Value of Water Research Report Series n°. 69. UNESCO-IHE. Delft, the Netherlands. p. 70. 2016.

APÊNDICE I - Pontos de água por edificação

A água utilizada para o abastecimento do *campus* Sorocaba da UFSCar é retirada de poço tubular profundo nas coordenadas aproximadas entre 23°34'54.1"S 47°31'40.4"W. A tubulação (PVC, Ø75mm) passa por uma miniestação de tratamento onde ocorre a cloração e é bombeada para a caixa d'água central na entrada do *campus*, a rede hidráulica tem aproximadamente 460 m de distância do poço. Do reservatório principal, a água é distribuída para os reservatórios setoriais por gravidade. Abaixo segue os pontos de água por edificação:

Local	Caixa d'água	Sanitário Caixa	Sanitário Válvula	Mictório	Pia banheiro	Pia cozinha	Pias Lab	Chuveiro	Bebedouro	Tanque
ADUFSCar		2			2	1		1	1	1
Ambulatório	4 de 1000	7		1	20*	1		2	1	1
AT02	4 de 10000	30		12	30	4			12	3
ATLab	6 de 5000	54	12	24	62	6	28	1**	12	2
Biblioteca	4 de 3000L	24		6	20	1			3	1
Cantina	4 de 500	1			1	1		1		1
CCGT	4 de 6000	24		8	26	2			10	2
CCHB01	2 de 10000	24		6	16	2	4		4	2
CCHB02	2 de 3000	14		6	16	2			2	2
CCTS	4 de 6000	24		8	26	2			10	2
Galpão (oficina)	2 de 1000	7		2	6	1		2	1	
Guarita	1 de 1000L	1			1				1	
Lab	2 de 10000L		24	6	16	2	71	12**	4	2
Prédio de Gestão Administrativa - Gad	1 de 1000L 1 de 500L	15		2	12	2			3	1
Quadra	1 de 500L	4		4	6			10	6	
RU	6 de 1000L	2			15			2		
Viveiro	1 de 5000L		1		1					
Vivência	4 de 500L	10		2	8				2	1
Finep 3 e 4	6 de 500L	10		4	10	2	46	29**	10	2

*Incluindo as pias dos consultórios.

**Chuveiros utilizados nos laboratórios didáticos dos laboratórios.

APÊNDICE II - Cartaz: vamos evitar o desperdício?



Vamos evitar o desperdício de água?

Em caso de suspeita de vazamento, comunique a zeladoria -
ramal 5979 ou e-mail zeladoria.sorocaba@ufscar.br.



APÊNDICE III - Métodos ACV

Método	Nível de avaliação de impacto	Categorias de impacto tradicionais	Agência de aplicação	Categorias de impacto diferenciadas	Abrangência de aplicação	
CML 2002	Midpoint	Depleção de recursos abióticos	Global	Perda de função de suporte à vida	Global	
		Depleção de recursos bióticos	Global	Perda de biodiversidade	Global	
		Uso da terra	Global	Ecotoxicidade em água (sedimentos)	Global	
		Mudança climática	Global	Ecotoxicidade marinha (sedimentos)	Global	
		Depleção do ozônio estratosférico	Global	Impactos da radiação ionizante	Global	
		Toxicidade humana	Global	Mau cheiro do ar	Global	
		Ecotoxicidade aquática (água)	Global	Barulho	Global	
		Ecotoxicidade aquática (marinha)	Global	Calor residual	Global	
		Ecotoxicidade terrestre	Global	Acidentes	Global	
		Formação de foto-oxidantes	Europa	Letais	Global	
		Acidificação	Europa	Não letais	Global	
		Eutrofização	Global	Dessecação	Global	
					Mau cheiro da água	Global
		Eco-indicator 99	Endpoint	Mudança climática	Global	Carcinogênicos
Depleção da camada de ozônio	Global			Inaláveis orgânicos	Europa	
Acidificação e eutrofização combinadas	Holanda			Inaláveis inorgânicos	Europa	
Ecotoxicidade	Europa			Radiação ionizante	Europa	
Uso da terra	Suíça					
Recursos minerais	Global					
Recursos fósseis	Global					
Ecological Scarcity	Inadido – Usa o princípio distância do alvo.	Mudança climática	Suíça	Efeitos respiratórios	Suíça	
		Depleção de ozônio	Suíça	Emissões para o ar	Suíça	
		Formação de oxidantes fotoquímicos	Suíça	Emissões para água de superfície	Suíça	
		Consumo de água	Suíça	Câncer proveniente de radionuclídeos emitidos no mar	Suíça	
		Consumo de areia/cascalho	Suíça	Emissões para águas subterrâneas	Suíça	
		Perda de biodiversidade por ocupação do solo	Suíça	Emissões para o solo	Suíça	
				Resíduos	Suíça	
				Fontes de energia primária	Suíça	
				Disruptores endócrinos	Suíça	
EDIP 1997	Midpoint	Aquecimento global	Global	Ambiente de trabalho	Global	
		Depleção de ozônio	Global			
		Acidificação	Global			
		Enriquecimento de nutrientes	Global			

		Formação de ozônio fotoquímico	Global		
		Toxicidade humana	Global		
		Ecotoxicidade	Global		
		Consumo de recursos	Global		
EDIP 2003	Midpoint	Aquecimento global	Global	Barulho	Europa
		Depleção de ozônio	Global		
		Acidificação	Europa		
		Eutrofização terrestre	Europa		
		Eutrofização aquática	Europa		
		Formação de ozônio fotoquímico	Europa		
		Toxicidade humana	Europa		
		Ecotoxicidade	Europa		
ESP 2000	Endpoint	Saúde humana	Global	Expectativa de vida	Global
		Consumo de recursos naturais	Global	Morbidade grave e sofrimento	Global
		Esgotamento de reservas de elementos	Global	Morbidade	Global
		Esgotamento de reservas fósseis (gás)	Global	Incômodo grave	Global
		Esgotamento de reservas fósseis (petróleo)	Global	Incômodo	Global

Método	Nível de avaliação de impacto	Categorias de impacto tradicionais	agência de aplicação	Categorias de impacto diferenciadas	Abrangência de aplicação
ESP 2000	Endpoint	Esgotamento de reservas fósseis (carvão)	Global	Ambiente natural	Global
		Esgotamento de reservas minerais	Global	Capacidade de produção agrícola	Global
				Capacidade de produção de madeira	Global
				Capacidade de produção de peixe e carne	Global
				Capacidade de cátions de base	Global
				Capacidade de produção de água potável	Global
IMPACT 2002+	Combinado	Toxicidade humana	Europa	Efeitos respiratórios	Europa
		Depleção de ozônio	Europa	Radiação ionizante	Europa
		Formação de ozônio fotoquímico	Europa		
		Ecotoxicidade aquática	Europa		
		Ecotoxicidade terrestre	Europa		
		Acidificação aquática	Europa		
		Eutrofização aquática	Europa		
		Acidificação e eutrofização terrestre	Europa		
		Ocupação do solo	Europa		
		Aquecimento global	Europa		
		Uso de energia não renovável	Europa		
		Extração mineral	Europa		
		Lime	Combinado	Aquecimento global	Global
Depleção da camada de ozônio	Global			Poluição do ar interior	Japão
Toxicidade humana	Japão			Geração de ruídos	Japão
Ecotoxicidade	Japão			Geração de resíduos	Japão
Acidificação	Japão			Estresse térmico	Japão
Eutrofização	Japão			Malária	Japão
Formação de oxidantes fotoquímicos	Japão			Doenças infecciosas, fome e desastres naturais	Japão
Uso da terra	Japão			Catarata	Japão
Consumo de minerais	Japão			Câncer de pele	Japão
Consumo de energia	Japão			Outro câncer	Japão
Consumo de recursos bióticos	Japão			Deficiência respiratória	Japão
				Biodiversidade (terrestre)	Japão
				Biodiversidade (aquática)	Japão
				Plantas	Japão
		Bentos	Japão		

				Pesca	Japão
				Colheita	Japão
				Materiais	Japão
				Efeitos respiratórios	Canadá
LUCAS	Midpoint	Mudança climática	Global		
		Depleção de ozônio	Global		
		Acidificação	Canadá		
		Neblina fotoquímica (<i>smog</i>)	Canadá		
		Eutrofização aquática	Canadá		
		Eutrofização terrestre	Canadá		
		Ecotoxicidade (aquática e terrestre)	Canadá		
		Toxicidade humana	Canadá		
		Uso da terra	Canadá		
		Destruição de recursos abióticos	Canadá		
MEEUp	Midpoint	Consumo total de energia bruta	Europa	Resíduos sólidos perigosos	Europa
		Consumo de eletricidade	Europa	Resíduos não perigosos	Europa
		Consumo de água (processos)	Europa	Emissão de poluentes orgânicos persistentes	Europa
		Consumo de água para resfriamento	Europa	Emissão de compostos orgânicos voláteis	Europa
		Aquecimento global	Europa	Emissão de metais pesados (ar)	Europa
		Destruição do ozônio estratosférico	Europa	Emissão de metais pesados (água)	Europa

Método	Nível de avaliação de impacto	Categorias de impacto tradicionais	agência de aplicação	Categorias de impacto diferenciadas	Abrangência de aplicação
IMEUP	Midpoint	Acidificação	Europa		
		Toxicidade humana	Europa		
		Formação de partículas	Europa		
		Eutrofização aquática	Europa		
ReCIPE	Combinado	Mudança climática	Global	Radiação ionizante	Europa
		Depleção de ozônio	Global	Transformação da terra natural	Europa
		Acidificação terrestre	Europa		
		Eutrofização (água e marinha)	Europa		
		Toxicidade humana	Europa		
		Formação de oxidantes fotoquímicos	Europa		
		Formação de matéria particulada	Europa		
		Ecotoxicidade (terrestre, água, marinha)	Europa		
		Uso do solo agrícola	Europa		
		Uso do solo urbano	Europa		
		Esgotamento de recursos fósseis	Global		
		Esgotamento de recursos minerais	Global		
		Esgotamento de recursos de água	Global		
TRACI	Midpoint	Depleção de ozônio	Global		
		Aquecimento global	Global		
		Formação de fumaça (<i>smog</i>)	América do Norte		
		Acidificação	América do Norte		
		Eutrofização	América do Norte		
		Saúde humana (carcinogênicos)	Estados Unidos		
		Saúde humana (não carcinogênicos)	Estados Unidos		
		Saúde humana (poluentes)	Estados Unidos		
		Ecotoxicidade	Estados Unidos		
		Esgotamento de combustíveis fósseis	Global		
		Uso da terra	Estados Unidos		
		Uso da água	-		
USEtox	Midpoint	Toxicidade humana	Global		
		Ecotoxicidade de água	Global		
IMPA CT World+	Combinado	Toxicidade humana	Global		
		Oxidação fotoquímica	Global		

		Depleção da camada de ozônio	Global		
		Aquecimento global	Global		
		Ecotoxicidade	Global		
		Acidificação	Global		
		Eutrofização	Global		
		Uso da água	Global		
		Uso da terra	Global		
		Uso de recursos	Global		
$WSI_{HH, EQ}$	Midpoint	Escassez hídrica	Global		
$WSI_{WORLD, EQ}$	Combinado	Escassez hídrica	Global		
		Toxicidade humana			
		Eutrofização			
		ecotoxicidade			
AwaRe	Midpoint	Escassez hídrica	Global	Potencial de privação à água	Global

Fonte: Adaptado de Mendes *et al.*, 2016.

APÊNDICE IV - Matriz pedigree
TABELA 8 - Matriz pedigree: qualidade da fonte dos dados

PONTUAÇÃO	CONFIANÇA	COMPLETEZA	NÚMERO DE AMOSTRAS	CORRELAÇÃO TEMPORAL	CORRELAÇÃO GEOGRÁFICA	CORRELAÇÃO TECNOLÓGICA
1	Dados verificados ^a baseados em medidas ^b	Dados representativos de todos os locais relevantes para o aspecto e com período adequado para compensar flutuações normais	> 100, medidas contínuas	Menos de 3 anos de diferença para o ano do estudos	Dados da área em estudo	Dados de empreendimentos, processos e materiais em estudo
2	Dados verificados parcialmente baseados em estimativas ou dados não verificados baseados em medidas	Dados representativos de > 50% dos locais relevantes para o aspecto considerado com períodos adequados para compensar flutuações normais	>20	Menos de 6 anos de diferença	Dados médios da grande área na qual a área sob estudo está incluída	Dados relativos ao mesmo processo/materiais, mas de outra empresa
3	Dados não verificados parcialmente baseados em estimativas qualificadas ou informações teóricas	Dados representativos de somente alguns locais <50% relevantes para o aspecto considerado ou > 50% dos locais mas com períodos curtos	>10	Menos de 10 anos de diferença	Dados de uma área menor que área do estudo, ou de área similar	Dados dos mesmos processos/materiais, mas diferente tecnologia
4	Estimativa qualificada (p.ex. perito industrial); Dados derivados de informações teóricas	Dados representativos de apenas um local representativo para o aspecto considerado ou alguns locais com períodos curtos	≥ 3	Menos de 15 anos de diferença	Dados de uma área com condições de produção com algumas semelhanças	Dados relativos a processos/materiais semelhantes, mas tecnologia análoga
5	Estimativa não qualificada	Representatividade desconhecida ou dados pequeno número de locais períodos curtos	Desconhecido	Idade do dado desconhecida ou mais de 15 anos de diferença	Dados de área desconhecido ou área com muita diferença nas condições de produção.	Dados relativos a processos/materiais semelhantes, mas tecnologia diferente

^averificação pode se dar em diversas maneiras, p. ex. pela checagem *in-loco*, pelo recálculo, por balanço de massa ou checagem cruzada com outras fontes.

^binclui dados calculados (p. ex. emissões calculadas de entradas no processo), quando a base para o cálculo é medida (p. ex. entradas medidas), se o cálculo é baseado parcialmente de suposições, a pontuação deve ser dois ou três.

Os indicadores avaliados são: confiança da fonte; completeza; número de amostras; correlação temporal; correlação geográfica e; correlação tecnológica. A matriz gera uma pontuação, os fatores de incerteza são calculados com base na pontuação obtida na coleta dos dados e nos fatores de incerteza padrão e básico (tabelas 9 e 10), desenvolvidos por especialistas para cada elemento da matriz e sua respectiva pontuação (ALTHAUS *et al.*, 2007; WEIDEMA e WESNAES, 1996).

TABELA 9- Fatores de incerteza padrão aplicados à pontuação pela qualidade dos dados.

PONTUAÇÃO DO INDICADOR	1	2	3	4	5
CONFIANÇA DA FONTE (U ₁)	1	1,05	1,10	1,20	1,50
COMPLEREZA (U ₂)	1	1,02	1,05	1,10	1,20
CORRELAÇÃO TEMPORAL (U ₃)	1	1,03	1,10	1,20	1,50
CORRELAÇÃO GEOGRÁFICA (U ₄)	1	1,01	1,02	-	1,10
CORRELAÇÃO TECNOLÓGICA (U ₅)	1	-	1,20	1,50	2,00
TAMANHO DA AMOSTRA (U ₆)	1	1,02	1,05	1,10	1,20

Fonte: ALTHAUS *et al.*, 2007.

TABELA 10 - Fatores básicos de incerteza (sem dimensão) aplicados a entradas e saídas da tecnosfera e a fluxos elementares; c: emissões de combustão; p: emissões do processo; a: emissões agrícolas;

Grupo de entrada e saída	c	P	a
Demanda de:			
Energia térmica, eletricidade, produtos semiacabados, material de trabalho, serviço de tratamento de resíduo			
Serviço de transporte	1,05	1,05	1,05
Infraestrutura	2,00	2,00	2,00
	3,00	3,00	3,00
Recursos:			
Energia primária, metais, sais	1,05	1,05	1,05
Uso e ocupação do solo	1,50	1,50	1,10
Uso e modificação do solo	2,00	2,00	1,20

Poluentes emitidos para a água:		
DBO ^a , DO ^b , DQO ^c , COT ^d , componentes inorgânicos (NH ₄ , PO ₄ , NO ₃ , Cl, Na etc.)	1,50	
Hidrocarbonetos individuais, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos		
Metais potencialmente tóxicos	3,00	
Pesticidas	5,00	1,80
NO ₃ , PO ₄		1,50
		1,50
Poluentes emitidos para o solo:		
Óleo, hidrocarboneto total	1,50	
Metais potencialmente tóxicos	1,50	1,50
Pesticidas		1,20
Poluentes emitidos para o ar:		
CO ₂	1,05	1,05
SO ₂	1,05	
NMVOC total	1,50	
NO _x , N ₂ O	1,50	1,40
CH ₄ , NH ₃	1,50	1,20
Hidrocarbonetos individuais	1,50	2,00
Material particulado (MP>10)	1,50	1,50
Material particulado (MP10)	2,00	2,00
Material particulado (MP2,5)	3,00	3,00
Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP)	3,00	
CO, metais potencialmente tóxicos	5,00	
Emissões inorgânicas, outros		1,50
Radionuclídeos (p.ex., radon – 222)		3,00

^aDBO: demanda bioquímica de oxigênio

^bDO: demanda de oxigênio

^cDQO: demanda química de oxigênio

^dCOT: carbono orgânico total

Fonte: ALTHAUS, DOKA, *et al.*, 2007.

Os fatores de incerteza devem ser calculados como o quadrado do desvio padrão geométrico atribuído a cada uma das pontuações das seis características com a seguinte fórmula (UGAYA, 2013; ALTHAUS *et al.*, 2007):

$$\sigma_g^2 = e^{\sqrt{\sum_{i=1}^6 [\ln(U_i)]^2 + [\ln(U_b)]^2}}$$

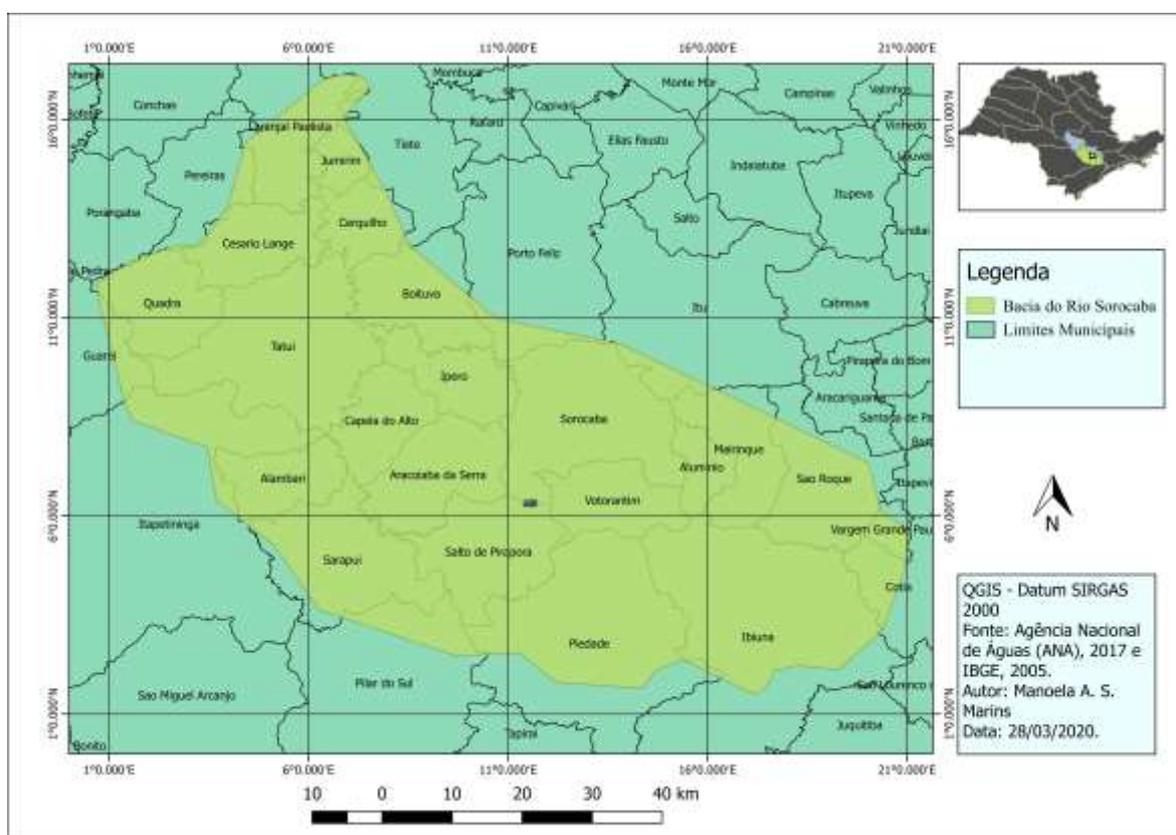
Onde U_i representa o fator de cada indicador e U_b o fator básico de incerteza.

Após a definição dos fatores e suas pontuações para o estudo no *campus* Sorocaba, aplicou-se a fórmula acima e obteve-se 15,6% de incerteza nos dados.

APÊNDICE V - Caracterização detalhada e localização da área de estudo

O *campus* Sorocaba da Universidade Federal de São Carlos - UFSCar está localizado no interior do estado de São Paulo, Brasil. Possui clima tropical alternadamente seco e úmido segundo a classificação de Monteiro (1976). Está na bacia do Rio Sorocaba (Fig.19) que pertence à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos número 10 (Fig.20) referente ao Rio Sorocaba Médio Tietê – UGRHI 10¹⁵, a terceira região mais industrializada do Estado, e também a terceira- em déficit hídrico (DAMASCENO, *et al.*, 2014). E, segundo o último relatório de situação elaborado pelo Comitê de Bacias da UGRHI 10 (2018)¹⁶, a sub-bacia é considerada como em estado de atenção e em algumas regiões em estado crítico, se agravando nas projeções futuras.

FIGURA 19 – Municípios pertencentes à Bacia do Rio Sorocaba.

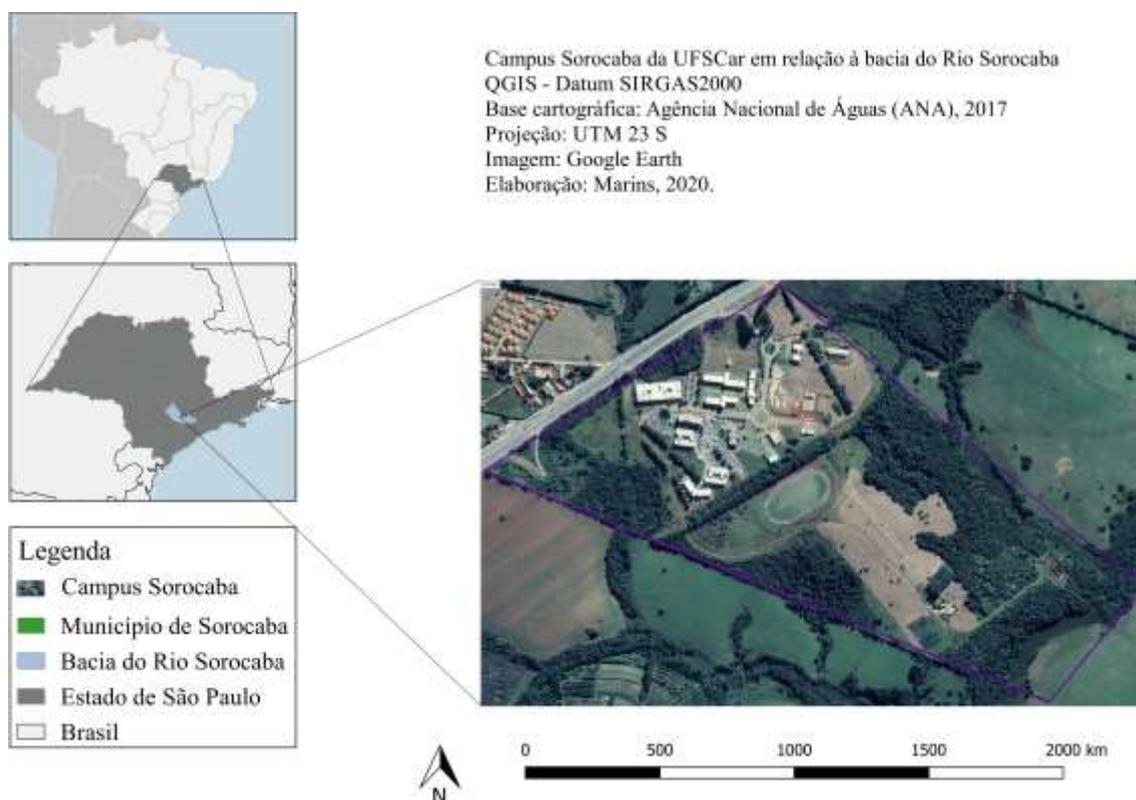


Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

¹⁵ Após a instituição da Política Estadual de Recursos Hídricos, o Estado de São Paulo foi dividido em 22 Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos – UGRHI pela Lei Estadual nº 9.034 de 27 de dezembro de 1994. A Região do Sorocaba-Médio Tietê é a unidade 10 dentre as 22.

¹⁶ Segundo Dos Santos *et al.* (2018) “Comitês de Bacia são entidades criadas para gestão dos recursos hídricos de forma participativa e descentralizadas e tem como um dos principais mecanismos de gestão o Plano de Bacia”.

FIGURA 20 - Localização do *campus* Sorocaba da UFSCar em relação à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 10.



Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

O *campus* tem 70 hectares de extensão e 50 mil m² de área construída. Há três centros acadêmicos – Centro de Ciências e Tecnologias para a Sustentabilidade (CCTS), Centro de Ciências Humanas e Biológicas (CCHB) e Centro de Ciências em Gestão e Tecnologia (CCGT), dois edifícios de aulas teóricas (AT01 e AT02), 78 laboratórios, três auditórios, biblioteca, restaurante universitário, lanchonete, ambulatório, quadra esportiva e pista de atletismo (UFSCAR, 2019).

Os espaços do *campus* foram pensados para contemplar as dimensões sociais, econômicas, ecológicas, culturais e tecnológicas sob o viés da sustentabilidade. Utilizando a arquitetura bioclimática. Os prédios foram construídos com o aproveitamento da ventilação e iluminação naturais. Nas áreas próximas às edificações foram previstos plantios de espécies arbóreas como medida de controle de fluxo térmico para o interior das edificações (UFSCar, 2006).

O abastecimento hídrico do *campus* Sorocaba é realizado por água subterrânea sob responsabilidade do Serviço de Abastecimento de Água e Esgoto de Sorocaba - SAAE¹⁷. O SAAE contratou uma empresa especializada para fazer o estudo de viabilidade para a

¹⁷ Convênio firmado pela Lei Municipal nº 7.387 de 30 de maio de 2005, Processo nº 7.599/2005.

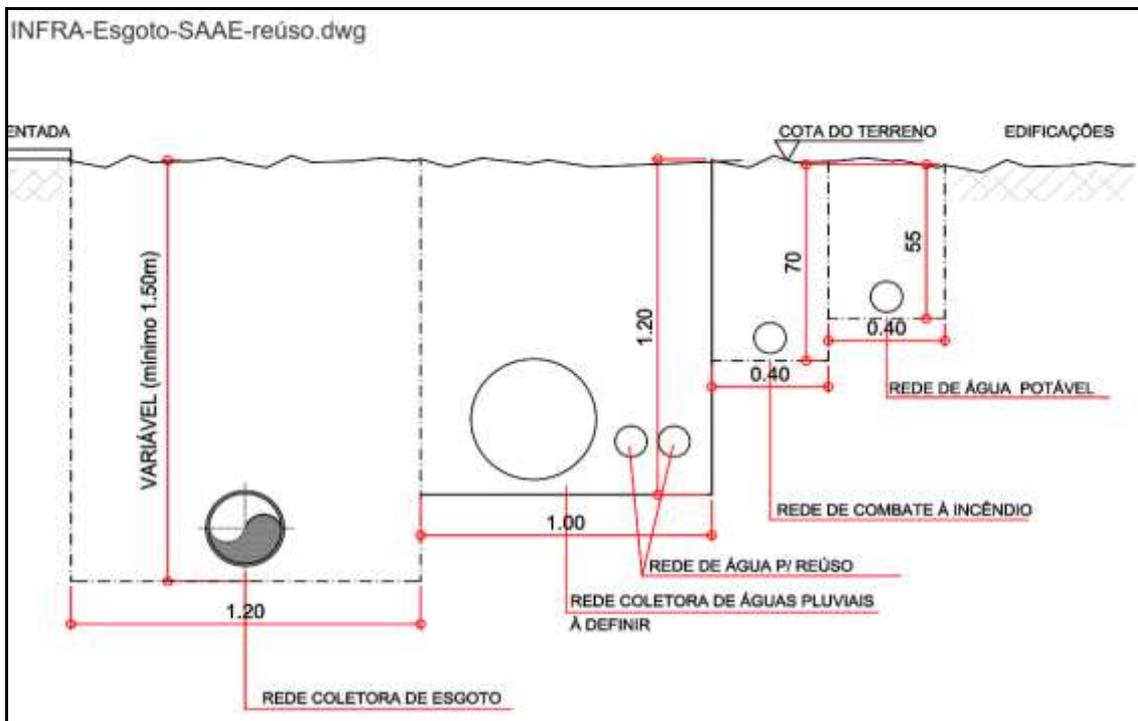
perfuração dos poços tubulares profundos em 2006, o qual contemplava a estimativa populacional de 2.800 pessoas para 2007 e 8.700 em 2010, alcançando aproximadamente 10.000 pessoas em 2018. Além do quantitativo de uso *per capita*, o planejamento considerou também a quantidade de água requerida nos laboratórios dos cursos como ciências biológicas, química etc., principalmente em equipamentos como destiladores de água.

Como planejamento estratégico¹⁸, a empresa contratada para elaborar o plano diretor sugeriu alguns critérios associados ao reuso da água com o objetivo de mitigar o impacto ambiental no uso dos recursos hídricos no *campus*. O planejamento indicava o reuso das águas cinzas e pluviais após tratamento e as dos destiladores dos laboratórios de forma direta para fins não-potáveis, estimando uma economia de até 30% no consumo. O reuso da água foi proposto para a irrigação de parques, jardins, centros esportivos, campos de futebol, quadras, gramados, árvores, áreas ajardinadas ao redor das edificações; reserva de proteção contra incêndio; controle de poeira em movimentos de terra; descarga sanitária de banheiros e lavagem de veículos (UFSCar, 2006).

A empresa sugeriu também a construção da infraestrutura hidráulica com ramais prediais dos esgotos de laboratórios independentes do esgotamento sanitário e drenagem, para serem tratados separadamente, conforme ilustra a figura 21. Essa medida se dá pelo fato do reuso de água oriunda de laboratórios envolverem diretrizes ambientais diferenciadas em relação ao projeto de instalações prediais, entretanto, a água utilizada nos destiladores, ou seja, para resfriamento, não ocorrendo nenhum tipo de contaminação, iriam direto para o reuso, conforme ilustra a figura 22. Para o tratamento da água para reuso, foi prevista a construção de uma Estação de Tratamento de Esgoto – ETE dentro do *campus*, conforme ilustra a figura 23.

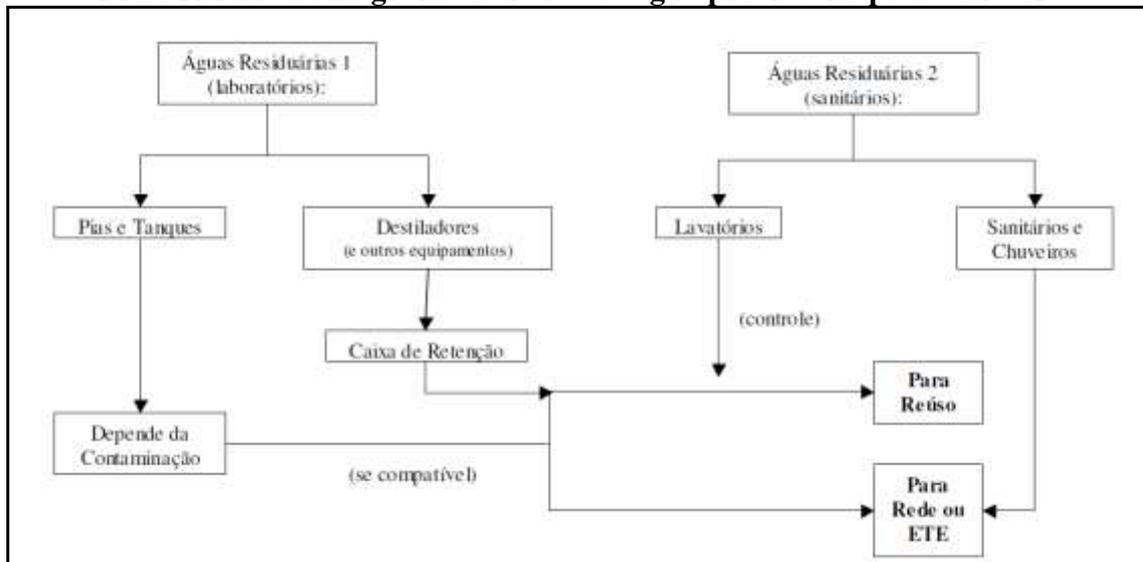
¹⁸ Para saber mais sobre planejamento estratégico de sistemas hídricos ver MAUAD e LIMA, 2003.

FIGURA 21 - Construção da estrutura para reuso da água prevista no plano diretor.



Fonte: Plano diretor de implantação do *campus* Sorocaba da UFSCar, 2006.

FIGURA 22 - Fluxograma de reuso da água previsto no plano diretor.



Fonte: Plano diretor de implantação do *campus* Sorocaba da UFSCar, 2006.

FIGURA 23 - Estação de tratamento de esgoto.

Fonte: Adaptado de UFSCar, 2019.

Contudo, o *campus* não atingiu a meta estipulada no planejamento inicial e atualmente conta com cerca de 3.300 alunos de graduação e pós-graduação, 299 servidores docentes e técnico-administrativos e 41 colaboradores terceirizados (UFSCAR, 2019), ou seja, 36% da ocupação prevista inicialmente.

A estrutura de reuso também não seguiu os critérios do Plano Diretor, a rede foi construída sem a separação dos ramais previstos (esgoto do laboratório, das águas cinzas e de drenagem). Pois o SAAE, apesar de ser o responsável pela construção da estrutura para fornecimento de água e esgoto não teria a obrigação de seguir o Plano Diretor da UFSCar, dessa forma, as licitações realizadas pela a autarquia não separou os ramais de esgoto dos laboratórios. E apesar da construção da ETE ter sido iniciada, nunca entrou em funcionamento. Além disso, o primeiro poço perfurado com vazão de $9 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, não foi suficiente para suprir a demanda do *campus*.

O primeiro poço foi planejado para atender uma população de até 7 mil pessoas, considerando o reuso da água reciclada na ETE. Entretanto, sem esta água de reuso o poço não conseguiu abastecer uma população aproximada de 3,6 mil pessoas. Sendo necessária a perfuração de um segundo poço.

A água utilizada para o abastecimento do *campus* Sorocaba da UFSCar é retirada de dois poços tubulares profundos nas coordenadas aproximadas entre $23^{\circ}34'54.1''\text{S}$ $47^{\circ}31'40.4''\text{W}$. A tubulação (PVC, $\text{Ø}75\text{mm}$) passa por uma miniestação de tratamento onde ocorre a cloração e é bombeada para a caixa d'água central na entrada do *campus*, aproximadamente 460m do poço. Do reservatório principal a água é distribuída para os reservatórios setoriais. O primeiro poço foi construído à distância aproximada de 400 m do reservatório principal e o poço II à 500 m, conforme ilustra a figura 24. O primeiro poço, com vazão de $9,68 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ está em operação desde 2007, já o segundo (construído em 2012 devido à falta de água constante que estavam ocorrendo), possui vazão de $15 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. Após a construção do segundo poço, não ocorreram mais episódios de falta d'água por insuficiência no abastecimento.

FIGURA 24 - Localização dos poços I e II e do reservatório central.



Fonte: Adaptado do Plano Diretor, 2006.

Na implantação do *campus* não se fazia o controle do uso da água, apenas em 2012 com o Projeto Esplanada Sustentável (PES), é que se teve início a preocupação com o consumo de água. O PES é de iniciativa do Governo Federal a fim de alcançar eficiência no uso racional dos recursos, é regido pela Portaria interministerial nº 244, de 06 de junho de 2012, com proposta de que os órgãos reduzissem pelo menos 10% das despesas, os quais receberiam 50% do total do valor economizado em recursos para investimento.

Atualmente o projeto é regido pela Portaria nº 23, de 12 de fevereiro de 2015 do extinto Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, que prevê que os órgãos e entidades deverão fornecer informações referentes ao consumo de Energia Elétrica e de Água, mensalmente, por meio do Sistema do Projeto Esplanada Sustentável.

Na UFSCar, a primeira prioridade estabelecida após a adesão ao projeto, foi reduzir as despesas com Água e Esgoto, conforme elencado no quadro 6. Dessa forma, os novos projetos arquitetônicos foram elaborados com a previsão de instalação de caixa acoplada com válvula de duplo acionamento e torneiras com desligamento automático, além do hidrômetro instalado. Dessa forma, os prédios construídos após a adesão ao PES, como o ambulatório, AT02, CCGT e CCTS foram entregues nos padrões de conservação do uso da água. Estima-se que a redução no consumo de água da caixa acoplada é de 50% em relação à válvula de descarga, e a torneira de desligamento automático 48% em relação a torneira comum (SABESP, 2006).

QUADRO 6 - Prioridades da UFSCar para o PES.

Prioridades	
1	Água e esgoto
2	Apoio Administrativo, Técnico e Operacional
3	Energia Elétrica
4	Limpeza e Conservação
5	Locação de Imóveis
6	Locação de Veículos
7	Manutenção e Conservação de Bens Imóveis
8	Material de Consumo
9	Serviço de Processamento de Dados
10	Telecomunicações
11	Vigilância

Fonte: Adaptado de PES UFSCar, 2013.

Como o projeto teve início na UFSCar em 2013, os prédios construídos anteriormente não possuem os equipamentos hidráulicos voltados à conservação dos recursos hídricos, os quais estão sendo trocados conforme disponibilidade orçamentária. Atualmente há cerca de 100 torneiras divididas entre pias de banheiros e laboratórios, e 67 válvulas sanitárias que ainda precisam de adequação. A relação completa dos equipamentos hidráulicos do *campus* Sorocaba da UFSCar está disponível no anexo I.

Entre 2015 e 2016, a antiga Divisão de Desenvolvimento Físico e Obras – DiDFO, órgão antes ligado à Prefeitura Universitária do *campus* Sorocaba – PU-So da UFSCar¹⁹, elaborou uma requisição de compras para obtenção de hidrômetros para os demais prédios. Contudo, apenas conseguiram adquirir duas unidades, as quais foram instaladas nos prédios hoje denominados CCHB1 e CCHB2. Entretanto, apesar dos seis prédios (Ambulatório, AT02, CCGT, CCTS, CCHB01 e CCHB2) já possuírem o instrumento de medição individualizado instalado, somente em 2017, quando a chefia da Divisão de Desenvolvimento Físico e Obras começou a participar da elaboração do Plano de Logística Sustentável - PLS²⁰ da UFSCar, junto a Secretaria de Gestão Ambiental – SGA da Universidade, iniciou-se o controle consumo pela DiDFO, com leituras semanais realizadas pelo setor.

Em 2019 foram adquiridos mais 14 hidrômetros para suprir a demanda dos demais prédios. Foram instaladas duas unidades no prédio de Gestão Administrativa – GAd e existe a programação para a instalação de mais 12 unidades que estão no aguardo de disponibilidade orçamentária. Após a instalação terá início o controle semanal do consumo de água nos demais prédios, ajudando a identificar possíveis vazamentos e minimizar desperdícios.

O Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Sorocaba – SAAE, responsável pelo abastecimento de água do *campus*²¹, iniciou em 2018 o controle mensal do consumo de água por exigência do Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE, o qual publicou o Decreto nº 63.262, de 9 de março de 2018, obrigando o outorgado a “instalar e operar estações e equipamentos hidrométricos, encaminhando ao DAEE os dados observados e medidos”. Com isso, a autarquia instalou um hidrômetro na saída dos poços, e desde então a medição é realizada e disponibilizada no website da Instituição (www.saaesorocaba.com.br) mediante a matrícula do imóvel.

¹⁹ Em junho de 2020 a DiDFO-So foi desvinculada da PU-So e passou fazer parte do Escritório de Desenvolvimento Físico de São Carlos – EDF.

²⁰ O PLS é uma ferramenta de planejamento que permite ao órgão ou entidade estabelecer práticas de sustentabilidade e racionalização dos gastos e processos na Administração Pública. Foram criados pelo art. 16, do Decreto nº 7.746, de 05 de junho de 2012.

²¹ Conforme convênio entre a Prefeitura Municipal de Sorocaba e a UFSCar, através da Lei Municipal nº 7.387 de 30 de maio de 2005.

Atualmente a gestão do uso da água no *campus* é compartilhada entre o Departamento de Manutenção e Elétrica – DeMCE e o Departamento de Serviços Gerais – DeSG, órgãos ligados à Prefeitura Universitária do *campus* – PU-So. O DeSG providenciou a colagem dos cartazes informativos (APÊNDICE II) orientando a comunidade acadêmica de como proceder em caso de identificação de vazamentos. Com o problema identificado é aberta uma Ordem de Serviço para a equipe da manutenção do DeMCE providenciar o reparo. Nos casos de vazamentos na rede externa aos prédios do *campus*, o SAAE é acionado.

REFERÊNCIAS

PES (PROJETO ESPLANADA SUSTENTÁVEL). **O que é PES?** 2013. Disponível em: <http://www.pes.ufscar.br/o-que-e-pes>. Acesso em: 18 de maio de 2019.

SÃO PAULO. **Manual de gerenciamento para controladores de consumo de água.**

Companhia

de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, SABESP: São Paulo, 2006. Disponível em:

http://site.sabesp.com.br/uploads/file/asabesp_doctos/Manual%20do%20controlador.pdf.

Acesso

em: 25 jun. 2020.

SÃO PAULO. **Decreto nº 63.262, de 9 de março de 2018.** Obriga o outorgado a instalar e operar estações e equipamentos hidrométricos. Departamento de Águas E Energia Elétrica (DAEE). Diário Oficial - Executivo, 10/03/2018, p.4, 2018. Disponível em:

<https://www.al.sp.gov.br/norma/?id=185449>. Acesso em: mai. 2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS (UFSCAR). **Plano Diretor.** Campus Sorocaba, 2006.