



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

ANA PAULA PORTO NEVES LEAL

PEGADA HÍDRICA PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPEMIRIM

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2016

ANA PAULA PORTO NEVES LEAL

PEGADA HÍDRICA PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO ITAPEMIRIM

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.
Orientador: Roberto Avelino Cecílio
Coorientador: Sidney Sara Zanetti

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

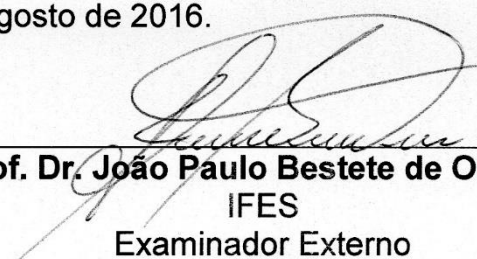
2016

PEGADA HÍDRICA PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPEMIRIM

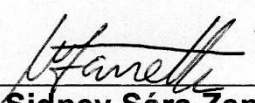
Ana Paula Porto Neves Leal

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

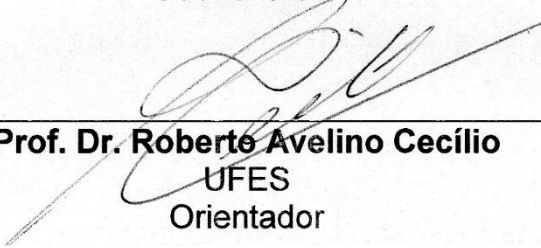
Aprovada em 02 de agosto de 2016.



Prof. Dr. João Paulo Bestete de Oliveira
IFES
Examinador Externo



Prof. Dr. Sidney Sára Zanetti
UFES
Coorientador



Prof. Dr. Roberto Avelino Cecílio
UFES
Orientador

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

L435p Leal, Ana Paula Porto Neves, 1989-
Pegada hídrica para a bacia hidrográfica do rio Itapemirim / Ana
Paula Porto Neves Leal. – 2016.
69 f. : il.

Orientador: Roberto Avelino Cecílio.

Coorientador: Sidney Sara Zanetti.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade
Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Gestão da água. 2. Indicador de consumo. 3. Pegada hídrica.
I. Cecílio, Roberto Avelino. II. Zanetti, Sidney Sara. III. Universidade
Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.
IV. Título.

CDU: 630

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por me dar forças, determinação e o privilégio de conhecer e contar com pessoas tão especiais em meu caminho.

Ao meu orientador Roberto Avelino Cecílio, que pela sua experiência transmitiu tantos conhecimentos nas disciplinas do mestrado e para a execução desse projeto. Obrigado por contribuir para a minha formação acadêmica.

Aos demais professores do PPGCFL-UFES pelos conhecimentos transmitidos por meio das disciplinas cursadas.

À Universidade Federal do Espírito Santo, em especial ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira por me acolher e fornecer a estrutura necessária para a realização do meu mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo financiamento da minha bolsa durante esse período de mestrado.

Aos meus pais, Maria e Paulo por serem os pilares principais da minha vida e por de terem me ensinado, com muito amor, valores que me fazem buscar cada dia ser uma pessoa melhor e persistir no caminho para a realização dos meus sonhos.

Ao Allan, pelo carinho, amor e companheirismo. Obrigado por estar do meu lado em todos os momentos e por ter suportado a distância por esses dois anos.

Aos amigos do laboratório, pela parceria e bons momentos vividos, que me ajudaram de alguma forma a realizar este trabalho e a seguir em frente. Amizades queridas, que levo para a vida.

Por fim, agradeço a todos que aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

“Seja quem você for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá.”

Ayrton Senna da Silva

RESUMO

LEAL, Ana Paula Porto Neves. Pegada hídrica para a bacia hidrográfica do rio Itapemirim. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientador: Prof. Dr. Roberto Avelino Cecílio. Coorientador: Prof. Dr. Sidney Sara Zanetti.

A busca por uma melhor gestão da água tem sido fundamentada na atual problemática em torno da redução da sua disponibilidade e qualidade. O uso de indicadores sobre o consumo de água é uma das ferramentas mais importantes para esta gestão. Nesse contexto, pegada hídrica (PH) é um novo conceito de consumo da água doce que considera o seu uso direto e indireto por um consumidor ou produtor, sendo usada como um indicador abrangente da apropriação de recursos hídricos e, além disso, avalia a sustentabilidade do uso da água. A PH é subdividida em: água azul, que corresponde à água doce disponível, tanto de superfície como subterrânea; água verde, que é a água da chuva que fica retida nas plantas e solo; e água cinza, quantidade de água usada para a diluição da poluição das atividades na bacia. O presente trabalho teve o objetivo de avaliar a PH da bacia hidrográfica do rio Itapemirim. A avaliação da PH consistiu em fases distintas: definição de objetivos e escopos, contabilização da PH e avaliação da sustentabilidade da PH na bacia. Foram considerados os principais setores usuários da água na bacia do rio Itapemirim: agricultura, pecuária, florestas, abastecimento e saneamento urbanos. A pegada hídrica total estimada da bacia do rio Itapemirim foi 6.4 bilhões de m³/ano, sendo que a maior contribuição foi dada pela água verde com 92% da PH total, seguida da água cinza com 7% e água azul com 1%. Quanto às classes de setores usuários da bacia, a classe agrícola, sobretudo pela componente água verde, foi a classe que mais consumiu água doce na bacia. A pegada verde foi insustentável do ponto de vista ambiental, chegando a altos índices de escassez de água verde, como 2,59 no mês de julho. As pegadas azul e cinza foram consideradas sustentáveis na bacia, sendo o maior índice de escassez de água azul igual a 79%. O acréscimo da cobertura florestal na bacia em 8%, 10% e 15% aumentou em 0,19%, 0,24% e 0,36%, respectivamente, na PH total.

Palavras-chave: gestão da água, indicador de consumo, pegada hídrica

ABSTRACT

LEAL, Ana Paula Neves Porto. Water Footprint for River Basin Itapemirim. 2016. Dissertation (Master's degree on Forest Science) – Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro – ES. Adviser: Prof. Dr. Roberto Avelino Cecílio. Co-adviser: Prof. Dr. Sidney Sara Zanetti.

The search for a better water management has been based on the current issues around reducing its availability and quality. The use of indicators on water consumption is one of the most important tools for this management. In this context, water footprint (PH) is a new concept of consumption of freshwater that considers its direct and indirect use by a consumer or producer, being used as a comprehensive indicator of the appropriation of water resources, and also assesses water use sustainability. The PH is subdivided into blue, which corresponds to the available fresh water, both surface and underground; green water, which is rainwater that is retained in plants and soil; and gray water, quantity of water used for dilution of pollution of activities in the basin. This study aimed to evaluate the PH of the basin of the river Itapemirim. The evaluation of PH consisted of distinct phases: definition of objectives and scope, accounting for PH and sustainability assessment of PH in the basin. They were considered the main water user sectors in the Itapemirim river basin: agriculture, livestock, forestry, supply, and urban sanitation. The total water footprint of the Itapemirim River basin was 6.4 billion cubic meters / year, considering that the largest contribution was given by the green water, with 92% of the total PH, followed by gray water, with 7%, and blue water, with 1%. Regarding the classes of the basin user sectors, the agricultural class, especially the component green water, was the class that consumed more freshwater in the basin. A green footprint is unsustainable from an environmental point of view, reaching high levels of green water scarcity as 2.59 in July. The blue and gray footprints were considered sustainable in the basin, the largest index of blue water shortage equal to 79%. The addition of forest cover on bowl 8%, 10% and 15% increased by 0,19%, 0,24% and 0,36% respectively of the total PH.

Keywords: water management, consumption indicator, water footprint.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	3
2. OBJETIVOS.....	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1 PEGADA HÍDRICA.....	6
3.1.1 Pegada hídrica azul	8
3.1.2 Pegada hídrica verde.....	9
3.1.3 Pegada hídrica cinza.....	10
3.1.4 Pegada hídrica de uma bacia hidrográfica.....	12
3.2 AVALIAÇÃO DA PEGADA HÍDRICA DA BACIA E SUSTENTABILIDADE	13
3.2.1 Sustentabilidade da Pegada Hídrica.....	14
3.2.2 Limitações da Avaliação da Pegada Hídrica	15
4. METODOLOGIA	16
4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO	16
4.2 DETERMINAÇÃO E AVALIAÇÃO DA PEGADA HÍDRICA.....	21
4.2.1 Definição de objetivos e escopos.....	21
4.2.2 Contabilização da Pegada Hídrica	23
4.3 AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE.....	32
4.3.1 Sustentabilidade pegada hídrica verde	32
4.3.2 Sustentabilidade pegada hídrica azul.....	33
4.3.3 Sustentabilidade pegada hídrica cinza	35
4.4 ANÁLISES DE CENÁRIOS	35
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
5.1 PEGADA HÍDRICA TOTAL DA BACIA DO RIO ITAPEMIRIM.....	36
5.2 PEGADA HÍDRICA AZUL.....	37
5.3 PEGADA HÍDRICA VERDE.....	39
5.4 PEGADA HÍDRICA CINZA	42
5.5 PEGADA HÍDRICA DAS CLASSES URBANA, AGRÍCOLA E FLORESTAL ...	44
5.6 SUSTENTABILIDADE DA PEGADA HÍDRICA AZUL	46
5.7 SUSTENTABILIDADE DA PEGADA HÍDRICA VERDE	50
5.8 SUSTENTABILIDADE DA PEGADA HÍDRICA CINZA.....	51
5.9 ANÁLISE DE CENÁRIOS.....	53
6. CONCLUSÕES	57
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58
ANEXOS	63

1. INTRODUÇÃO

A problemática em torno redução da disponibilidade da água, em quantidade e qualidade, vem chamando a atenção mundial há alguns anos, fazendo crescer a busca por uma melhor gestão desse recurso. As características físicas, químicas e biológicas dos recursos hídricos estão sendo seriamente alteradas, e isso se deve às ações antrópicas. Tais ações, aliadas ao efeito das mudanças climáticas, resultam na atual crise hídrica mundial, na qual boa parte da água doce do planeta apresenta algum tipo de contaminação ou escassez.

Sabendo da importância da disponibilidade limitada da água, é necessário utilizá-la de forma racional e equilibrada, sendo necessária a implementação de medidas para o seu uso eficiente. Os recursos de água doce na terra estão sujeitos a pressões crescentes associados à forma como se utiliza e polui (WWAP, 2009). Nesse sentido, diversas estratégias e medidas têm sido tomadas, dado o crescente aumento da procura por este recurso. Cerca de um terço da população mundial vive em países com moderado a elevado estresse hídrico.

A utilização de ferramentas e indicadores permite entender o funcionamento da dinâmica da água na bacia, auxilia nas tomadas de decisão e no comportamento da disponibilidade da água face às alterações no uso do solo. Um indicador que tem sido recentemente utilizado para entender os processos hidrológicos é a pegada hídrica.

A pegada hídrica (*water footprints*, termo em inglês) é um indicador do consumo da água que mensura o seu uso direto e indireto por um consumidor ou produtor específico, sendo considerado um indicador abrangente da apropriação de recursos hídricos, que vai além do conceito tradicional e restrito para a captação de água (HOEKSTRA, 2011). Esse indicador mostra a distribuição da água para as atividades antrópicas, bem como a sua origem e quantidade necessária para a diluição da poluição causada por essas atividades.

As bacias hidrográficas sofrem constantes perturbações ambientais e, mesmo diante de sua importância, tanto ambiental, social ou econômica, poucas medidas de recuperação e gestão são realizadas. A partir do desenvolvimento industrial e populacional, o crescimento acelerado das cidades e das atividades altera a disponibilidade de água numa bacia e comprometem a qualidade para o consumo.

Além do conhecimento da quantidade e forma como a água é consumida na bacia hidrográfica, a pegada hídrica (PH) também pode ser contabilizada para

diversos cenários, a fim de minimizar e prevenir danos futuros. Esses cenários devem representar as possíveis condições de uso e ocupação do solo para fornecerem uma ampla visão sobre o consumo e sustentabilidade de água.

Os cálculos da PH podem conduzir a discussões sobre a sustentabilidade e equidade do uso de água, bem como a sua distribuição, formando também uma base de avaliação dos impactos ambientais locais, considerando também os aspectos social e econômico.

A bacia do rio Itapemirim tem área de 5.919,5 km², o que corresponde a 12,8% do território do estado do Espírito Santo. É a maior e principal bacia do sul do estado, com cerca de 410 mil habitantes, sendo fonte de abastecimento e de diversas atividades econômicas. Diante disso, a avaliação da PH para essa bacia representa um estudo inovador e importante para auxiliar na compreensão sobre como as atividades e produtos interagem com a escassez, poluição da água e seus impactos, e o que pode ser feito para assegurar o uso sustentável dos recursos hídricos na bacia do rio Itapemirim.

2. OBJETIVOS

Determinar e avaliar a pegada hídrica e sua sustentabilidade na bacia hidrográfica do rio Itapemirim na condição de uso e ocupação do solo atual e em outros cenários de ocupação.

Específicos:

- Calcular a pegada hídrica verde, azul e cinza total na bacia;
- Verificar se a pegada hídrica total da bacia é sustentável;
- Comparar a pegada hídrica total na condição atual da bacia com aquelas sob diferentes cenários hipotéticos de aumento da área florestal.

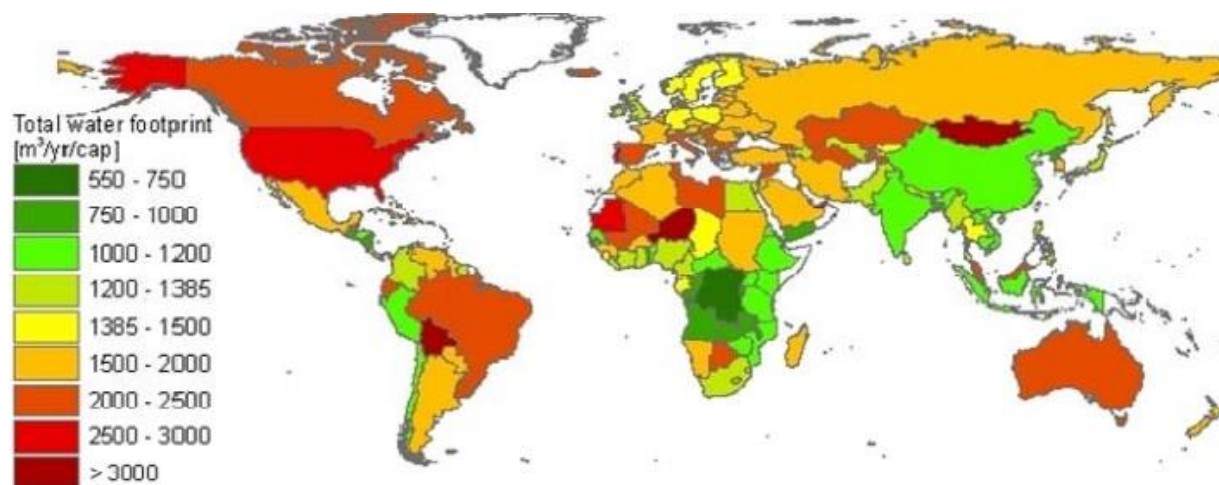
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 PEGADA HÍDRICA

Introduzida pelo professor Arjen Y. Hoekstra, em 2002, a pegada hídrica é um indicador do uso de água que considera não apenas o seu uso direto por um consumidor ou produtor, mas, também, seu uso indireto na produção de bens e serviços. A PH de um produto, por exemplo, é o volume total de água utilizado para produzi-lo, considerando toda a cadeia produtiva. Trata-se de um indicador multidimensional, que mostra os volumes de consumo de água por fonte e os volumes de diluição pelo tipo de poluição. Os componentes de uma PH total são especificados geográfica e temporalmente (HOEKSTRA et al., 2011).

A PH média global é de aproximadamente 1.385 m³/ano *per capita* no período de 1996 a 2005, variando de país para país (MEKONNEN; HOEKSTRA, 2011). Na Figura 1 são apresentadas as pegadas hídricas *per capita* em metro cúbico por pessoa ao ano (m³/cap/yr) dos diferentes países, permitindo ter uma visão da distribuição

Figura 1. Pegada hídrica média per capita das nações.



Fonte: Mekonnen e Hoekstra (2011).

Os países em verde possuem uma PH média por habitante menor do que a média global. Já os países em amarelo a vermelho apresentam uma PH superior à média. O Brasil encontra-se numa posição em que a sua pegada está acima da média mundial, e maior que a maioria dos países na América do Sul. A China e a Índia, por serem países populosos, têm PH's menores. Isto é, esses países têm menos água disponível por habitante e conseqüentemente um menor consumo e pegada hídrica. Os Estados Unidos, país mais desenvolvido, têm a pegada mais elevada. Quanto

maior o nível de desenvolvimento de um país, maior o consumo de produtos e, conseqüentemente, maior a pegada hídrica.

Segundo Hoekstra (2008), a PH considera em seu cálculo o volume de água consumida a partir de diversas fontes. O método ainda separa e classifica a água de acordo com sua fonte e impacto: água azul, água verde e água cinza (LEÃO, 2013). A água azul é aquela disponível para consumo na forma de rios, lagos, lençóis freáticos, entre outros. A água verde é proveniente da chuva e que fica retida nas plantas e no solo. A água cinza, é a água necessária para diluir um poluente específico.

A pegada hídrica azul (PH azul) de um produto refere-se ao consumo de água azul (superficial e subterrânea) ao longo de sua cadeia produtiva. Já a pegada hídrica verde (PHverde) refere-se ao consumo de água verde (água de chuva, desde que não escoe nos cursos d'água). A pegada hídrica cinza (PH cinza) refere-se à poluição, sendo definida como o volume de água doce necessário para assimilar a carga de poluentes, a partir de concentrações naturais e de padrões existentes de qualidade da água.

A PH oferece uma melhor e mais ampla perspectiva sobre a utilização de sistemas de água doce por parte dos produtores e consumidores, sendo uma medida volumétrica do consumo de água e poluição. O impacto ambiental local de um determinado consumo de água e poluição depende da vulnerabilidade do sistema de água local e do número de consumidores e poluidores que fazem uso desse mesmo sistema (HOEKSTRA et al., 2011).

Diante disso, a PH total de um local, processo, produto ou, ainda, de um indivíduo, cidade ou país, será a soma das pegadas azul, verde e cinza, dependendo do objetivo e escopo do projeto a ser desenvolvido, delimitados no espaço e no tempo (LEÃO, 2013).

No Brasil, o tema PH foi introduzido pela iniciativa da organização sem fins lucrativos *The Nature Conservancy* (TNC), da organização não governamental *World Wide Found* (WWF) e da organização com vários grupos de interesse *Alliance for Water Stewardship* (AWS). Desde então, as organizações internacionais com sede no Brasil iniciaram a popularização ou disseminação da temática da PH no país (EMPINOTTI, 2012).

Existem alguns estudos sobre PH relacionados a produtos, países, empresas, entre outros (VAN OEL; HOEKSTRA, 2010; CHAPAGAIN; ORR, 2008; YU et al, 2010;

TCCC; TNC, 2010) em níveis regional, nacional e mundial. No âmbito das bacias hidrográficas, podem-se citar alguns desses trabalhos:

- Zeng et al. (2012) avaliaram a PH da bacia hidrográfica Heihe, no noroeste da China. Os resultados mostraram que a PH para essa bacia foi de 1.768 milhões m^3 /ano, sendo a parte agrícola a principal consumidora, seguida dos setores industrial e doméstico. A PH dessa bacia foi classificada como insustentável.
- Vieira (2014) realizou a avaliação completa da PH no município de Caraguatatuba, em São Paulo, para o ano de 2012, analisando cenários de projeções populacionais e mudanças globais até 2040. Como resultado, encontrou-se uma PH de cerca de 400 Mm^3 /ano, sendo 85% proveniente da água cinza. A PH do município foi considerada insustentável. Os cenários de projeção com crescimento populacional mostraram o aumento da criticidade hídrica nessa cidade caso não haja redução do consumo de água.
- Freitas e Chaves (2014) estimaram a PH cinza relativa ao fósforo na bacia do ribeirão Pípiripau, no Distrito Federal, nas condições atuais e em diferentes cenários de uso do solo. O valor da PH cinza para as condições atuais de uso do solo da bacia, calculada pelos coeficientes de exportação de fósforo total, foi de 0,04 m^3/s , e o valor calculado pela concentração de fósforo total na água do ribeirão Pípiripau foi de 0,07 m^3/s . Os diferentes cenários de uso do solo apresentaram PH de 0,05 m^3/s (cenário 100% agrícola), de 0,12 m^3/s (cenário 100% urbano), de 0,006 m^3/s (cenário 100% cerrado), e de 0,09 m^3/s (cenário 50% agrícola e 50% urbano). As PH's cinza para a condição atual e para os diferentes cenários de uso do solo foram consideradas ambientalmente sustentáveis.

3.1.1 Pegada hídrica azul

A pegada hídrica azul é um indicador consuntivo de água azul (superficial e subterrânea) ao longo de uma cadeia produtiva. Esse consumo significa a perda de água disponível em uma bacia hidrográfica. A perda pode ocorrer quando a água é evaporada, ou sai por deflúvio superficial, ou quando é incorporada em um produto,

ou ainda quando a água retorna num outro período (deixa a bacia numa época de escassez e retorna num período de precipitação).

Esse uso consuntivo não significa que a água desaparece, pois, a maior parte da água retorna de forma natural ao ciclo hidrológico. Então, a PH azul permite medir a quantidade de água disponível consumida num determinado período, ou seja, água que não retornou imediatamente à mesma bacia hidrográfica. Desta forma, esta pegada fornece informação relativa à quantidade de água disponível consumida pelo homem. O restante, que não é consumida pelos seres humanos, destina-se à manutenção dos ecossistemas que dependem dos fluxos de água subterrânea e superficial (HOEKSTRA et al., 2011).

Pelo fato da água ser um recurso renovável, porém com disponibilidade limitada, então a quantidade de água que recarrega rios e águas subterrâneas está sempre limitada à vazão de sua montante.

A pegada hídrica azul é definida da seguinte forma:

$$\text{PH}_{\text{azul}} = \text{Evaporação da água azul} + \text{Incorporação da água azul} + \text{Fluxo de retorno perdido} \quad (1)$$

O fluxo de retorno corresponde ao que não está disponível para o reuso na mesma bacia hidrográfica, ou seja, é a vazão que sai da bacia no mesmo período, seja por ter se deslocado à outra bacia, ou por ter sido lançado no mar, ou por ter retornado em outro período. A incorporação corresponde à água assimilada ao produto. A unidade da PH azul é volume de água por unidade de tempo (dia, mês ou ano). Quando dividida pela quantidade do produto resultante do processo, a PH azul também pode ser expressa em volume de água por unidade de produto

3.1.2 Pegada hídrica verde

Segundo Hoekstra et al. (2011), a PH verde refere-se ao consumo de água verde. A água verde é a água da chuva que não é escoada ou não repõe a água subterrânea, mas é armazenada no solo ou permanece na vegetação. Essa parte da precipitação é evaporada do solo ou evapotranspirada pelas plantas. A água verde pode ser produtiva para o crescimento de culturas, mas nem toda água verde pode ser absorvida pelas culturas, pois sempre haverá evaporação do solo e porque nem

todas as áreas e nem todos os períodos do ano são adequados para o crescimento de culturas.

Portanto, a PH verde consiste no volume da água da chuva consumido durante o processo de produção vegetal e está diretamente ligada aos requisitos da cultura. Para os produtos agrícolas e florestais, corresponde ao total de água da chuva que sofre evapotranspiração (dos campos e plantações), mais a água incorporada nos produtos agrícolas e florestais colhidos. Portanto, a PH verde consiste em:

$$\text{PHverde} = \text{Evaporação e/ou evapotranspiração da água verde} + \text{incorporação da água verde} \quad (2)$$

No caso de PH para culturas (verde), a unidade adotada é o volume de água por massa. As PH's dos setores agrícola e florestal normalmente são expressas como m³/ton ou litro/kg (HOEKSTRA et al, 2011).

A diferença entre a PH azul e verde é muito importante, visto que os impactos hidrológicos, ambientais e sociais, além dos custos do uso das águas superficiais e subterrâneas para a produção, diferem dos impactos e custos da utilização da água da chuva (HOEKSTRA, 2008). O consumo de água verde pela agricultura pode ser medido ou estimado utilizando equações para estimar a evapotranspiração, com base em dados de entrada das características do solo, clima e cultura.

Para estimar a evapotranspiração devem ser utilizados dados de temperatura e precipitação médios (HOEKSTRA et al., 2011). Quando houver necessidade do cálculo de balanço hídrico deve ser utilizado o valor de Capacidade de Água Disponível (CAD) de acordo com cada tipo de vegetação.

A escolha do valor do CAD é baseada no tipo da vegetação ou cultura para a caracterização da disponibilidade hídrica da região, e no caso deste trabalho não foi considerado o tipo de solo. Dessa forma, podem-se adotar os seguintes valores de CAD: para hortaliças (25 a 50 mm), culturas anuais (75 a 100 mm), culturas perenes (100 a 125 mm) e espécies florestais (150 a 300 mm) (PEZZOPANE et al, 2012).

3.1.3 Pegada hídrica cinza

A pegada hídrica cinza (PH cinza) é um indicador do grau de poluição da água. É definida como o volume de água necessário para assimilar a carga de poluentes baseado nas concentrações em condições naturais e nos padrões ambientais existentes, ou seja, é o volume de água utilizado para diluir os poluentes de modo que a qualidade da água em seu estado natural seja mantida nos padrões mínimos de qualidade (HOEKSTRA et al., 2011).

A inclusão do cálculo da PH cinza nos estudos sobre o uso da água é relativamente novo, mas justifica-se quando considera-se a relevância da poluição como um agente da escassez de água (SEIXAS, 2011). O Relatório de Desenvolvimento Humano 2006 , em edição especial sobre a escassez de água, diz que o consumo de água não é o único fator que causa a escassez de água: a poluição também tem um papel importante (PNUD, 2006). Além disso, a poluição da água doce ameaça a sustentabilidade ambiental e a saúde pública, além de aumentar a competição por água doce e reduzir a biodiversidade dos rios.

A PH cinza é calculada pela equação:

$$PH_{cinza} = L / (C_{max} - C_{nat}) \quad (3)$$

Em que:

L = carga de poluente;

C_{max} = concentração máxima permitida do poluente em corpo hídrico;

C_{nat} = concentração natural do poluente em corpo hídrico.

A concentração natural de um poluente em um corpo d'água é a concentração como se não houvesse ações antrópicas na bacia hidrográfica. Segundo Hoekstra (2011), quando concentrações naturais são desconhecidas, pode-se considerar C_{nat} = 0. No entanto, isso poderá resultar em uma PH cinza subestimada, se C_{nat} não for realmente igual a zero.

Os cálculos da PH cinza são realizados usando padrões de qualidade da água em seu estado natural para o corpo d'água receptor, ou seja, padrões relacionados às concentrações máximas permitidas (HOEKSTRA et al., 2011).

De acordo com Freitas e Chaves (2014), uma PH cinza maior que zero não significa, automaticamente, que os padrões de qualidade da água foram desrespeitados, mas mostra que parte da capacidade de assimilação já foi utilizada.

Enquanto o valor da PH cinza for menor do que a vazão do rio, ou a vazão de águas subterrâneas existentes, ainda há água suficiente para diluir os poluentes.

Porém, quando a PH cinza calculada é igual a vazão do corpo hídrico, a concentração resultante estará exatamente nos limites do padrão de qualidade de água. Quando o efluente contém uma carga muito alta de substâncias químicas, pode acontecer que a PH cinza calculada exceda a vazão do rio ou o fluxo de águas subterrâneas.

Nesse caso, a poluição vai além da capacidade de assimilação do corpo d'água (HOEKSTRA et al., 2011).

Os poluentes no setor agrícola geralmente consistem de fertilizantes e agrotóxicos, em que apenas é considerado o fluxo residual superficial do poluente para os corpos d'água. Este fluxo corresponde a uma fração da aplicação total do fertilizante ou agrotóxico no campo, sendo apenas necessário contabilizar o poluente mais crítico, ou seja, aquele que gerou o maior volume de água para a sua diluição (FREITAS; CHAVES, 2014).

Observa-se que, nos estudos em bacias hidrográficas, é comum basear o cálculo da pegada cinza somente em fertilizantes aplicados na agricultura, devido as suas taxas de lixiviação e escoamento (VIEIRA, 2015).

3.1.4 Pegada hídrica de bacias hidrográficas

A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída. A bacia hidrográfica compõe-se de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório (TUCCI, 1997).

Sobre o território de uma bacia hidrográfica se desenvolvem as atividades humanas, de forma que todas as áreas urbanas, industriais, agrícolas ou de preservação fazem parte de alguma bacia hidrográfica. Pode-se dizer que, no seu exutório, estarão representados todos os processos que fazem parte do seu sistema. O que ali ocorre é consequência das formas de ocupação do território e da utilização das águas que para ali convergem (PORTO; PORTO, 2008).

A avaliação da PH em bacias hidrográficas é um passo importante para entender a influência das atividades antrópicas no ciclo natural de água, sendo a base para uma gestão integrada dos recursos hídricos. Estudos de avaliação da PH em bacias hidrográficas são raros na literatura, em grande parte devido à falta de dados

(ZENG et al., 2012). Dentre os estudos existentes, destacam-se os modelos de insumo-produto testados para estimar a PH das bacias hidrográficas, como na bacia do Haihe River (ZHAO; CHEN; YANG, 2010) e para a bacia do rio Amarelo (FENG et al., 2012)

Em bacias, a PH é o resultado do uso dos consumidores e suas atividades. Pode ser definida por meio da soma das PH's de todos os processos que utilizam água na área da bacia, ou seja, como o volume total de água doce consumida ou poluída dentro da bacia hidrográfica:

$$PH \text{ bacia} = \sum PH \text{ processos na bacia} \quad (\text{volume/tempo}) \quad (4)$$

3.2 AVALIAÇÃO DA PEGADA HÍDRICA DA BACIA E SUSTENTABILIDADE

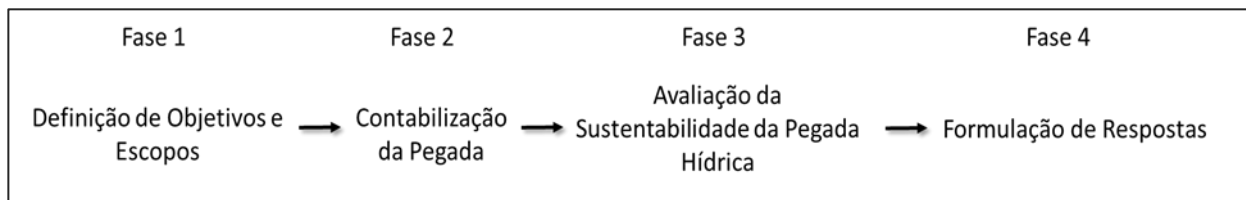
A avaliação da pegada hídrica consiste num escopo de atividades:

- I. Quantificar e localizar a pegada hídrica no espaço e no tempo em uma determinada bacia hidrográfica;
- II. Avaliar a sustentabilidade ambiental dessa pegada hídrica; e;
- III. Formular estratégias de resposta.

O objetivo de quantificar as PH's é analisar como atividades humanas ou produtos se relacionam com questões de escassez e poluição da água, além de verificar como atividades e produtos podem se tornar mais sustentáveis.

Uma avaliação completa de PH consiste de quatro fases, segundo a figura 2:

Figura 2. Fases da avaliação da pegada hídrica



Fonte: Hoekstra et al. (2011), adaptado pela autora.

Um estudo de avaliação da PH é feito a partir dos objetivos e escopos. A fase da contabilização é a coleta dos dados e suas quantificações. O escopo e o nível de detalhe na contabilização dependem da definição de objetivos. Na avaliação da sustentabilidade, a PH pode ser avaliada na perspectiva ambiental, social e

econômica. Por fim, são formuladas as respostas em relação a PH e sua sustentabilidade. Ainda existe a opção de se deixar as respostas em aberto para estudos futuros

3.2.1 Sustentabilidade da Pegada Hídrica

A avaliação de sustentabilidade da PH visa comparar a PH de um processo com o que a terra pode suportar de modo sustentável (HOEKSTRA et. al., 2011). A sustentabilidade de uma PH depende de fatores climáticos e hídricos de uma região. Uma localidade com grande fluxo de água tem uma PH diferente daquela com escassez de água. O uso da água doce está relacionado aos problemas de escassez e poluição, ocorrendo isso principalmente pelo grande uso de pesticidas na agricultura e pelo lançamento de poluentes industriais lançados no ar e na água (HOEKSTRA; CHAPAGAIN, 2007).

De forma geral, na análise da sustentabilidade da PH, deve-se considerar não apenas o tamanho da pegada, mas principalmente o seu impacto em um determinado local. Assim, é possível fornecer uma orientação mais clara sobre quais partes da cadeia de abastecimento deve-se focar e como priorizar as ações ambientais. A sustentabilidade da PH avalia os impactos na água doce ocasionados pelo consumo dos produtos; assim, analisa a "água embutida" nos produtos, ou seja, a água usada na sua cadeia de fornecimento e fabricação. Essa informação pode ajudar a quantificar e reduzir os gastos da água doce (SILVA et al., 2013).

A sustentabilidade da PH dentro de uma bacia hidrográfica pode ser analisada sob três perspectivas: ambiental, social e econômica. A sustentabilidade ambiental exige que a qualidade da água permaneça dentro de padrões pré-definidos e que a quantidade respeite a vazão ambiental mínima. A sustentabilidade social demanda uma quantidade mínima de água doce direcionada às necessidades básicas da sociedade. Na sustentabilidade econômica, a água precisa ser distribuída e utilizada de forma eficiente, devendo os benefícios do uso para determinado fim superarem os custos associados a água (ÁGUA BRASIL, 2015).

A avaliação da sustentabilidade ambiental da PH verde e PH azul pode ser realizada com os chamados indicadores de escassez de água (EA). Estes são a razão entre a pegada e a disponibilidade de água durante um período. No caso da avaliação

da sustentabilidade da PH cinza, o indicador usado é o nível de poluição da água (NPA).

De acordo com Silva et. al. (2013) os indicadores de sustentabilidade utilizados pela PH se baseiam na apropriação da água de bens e serviços, integrando o uso da água e da poluição sobre a cadeia de produção, indicando a ligação entre o local e o consumo global dos recursos hídricos, aferindo-se não apenas o uso da água azul, mas também o uso da água verde e a produção da água cinza poluída.

A PH verde e a PH azul são classificadas como insustentáveis quando as demandas excedem a disponibilidade hídrica. Já a PH cinza é insustentável quando a capacidade de assimilação de poluentes é usada completamente, resultando em poluição que excede os padrões de qualidade da água (ÁGUA BRASIL, 2015).

3.2.2 Limitações da Avaliação da Pegada Hídrica

A PH é um conceito relativamente novo, assim como o uso da sua avaliação como ferramenta de gestão. A avaliação da PH é útil para quantificar e avaliar se essas são sustentáveis, e identificar opções para reduzi-las, se necessário. Assim, a avaliação da PH torna-se uma ferramenta para entender as complexas relações entre a sociedade e o ambiente, incidindo sobre a utilização dos recursos de água doce em função da limitada disponibilidade (SEIXAS, 2011). No entanto, a PH não aborda outras questões relacionadas à água, como inundações, enchentes, falta de infraestrutura de abastecimento de água às comunidades carentes, mudanças climáticas ou aspectos econômicos.

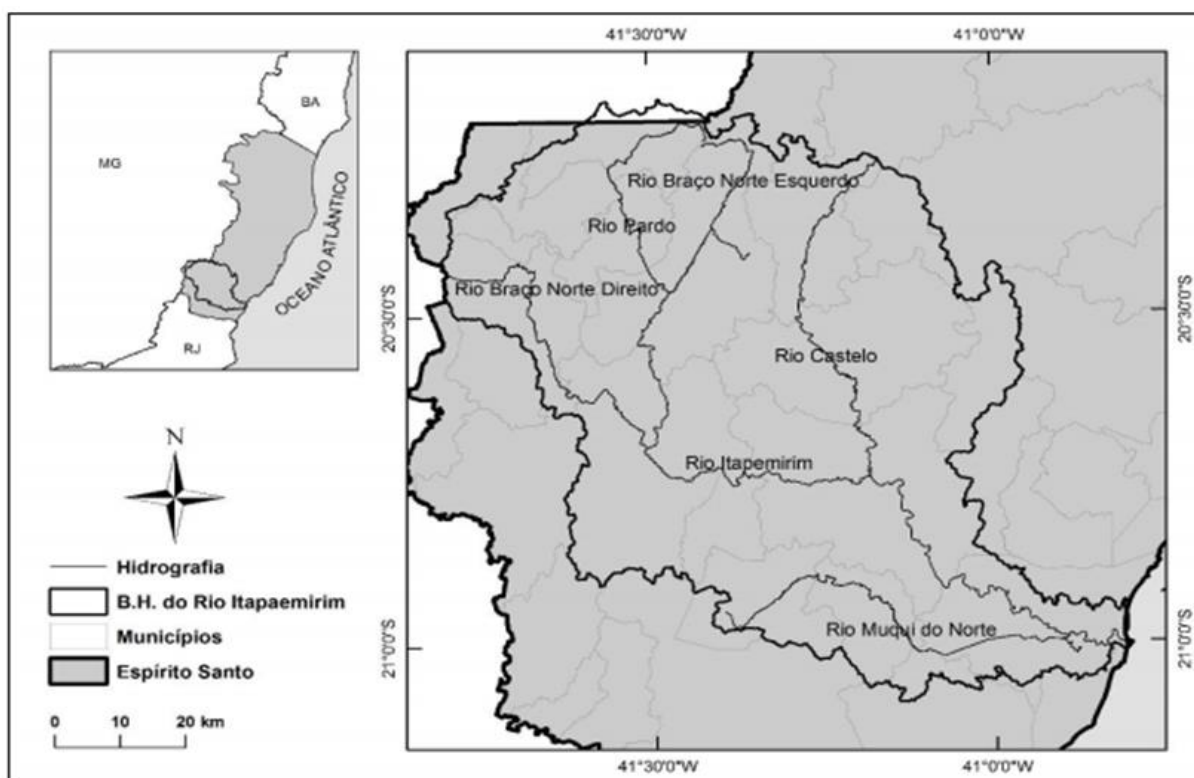
Dessa forma, fica claro que a avaliação da PH é apenas um instrumento parcial (indicador), que deve ser utilizado em combinação com outros meios analíticos, a fim de proporcionar uma compreensão de toda as questões relevantes quanto ao uso da água. A adoção da PH como um indicador da apropriação de água doce pelo homem é muito útil para reacender a questão da sua escassez para o governo, sociedade e empresas.

4. METODOLOGIA

4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

A área em estudo compreende a Bacia Hidrográfica do rio Itapemirim (BHRI), localizada na região Sudeste do Brasil, entre as latitudes 20°10' e 21°15' S e longitudes 41,20° e 40,20° W (Figura 3).

Figura 3. Localização da bacia hidrográfica do rio Itapemirim - ES



Fonte: Gasparini (2014).

A área da bacia está inserida no bioma Mata Atlântica e abrange 17 municípios, sendo um município (Lajinha) no Estado de Minas Gerais e mais 16 municípios no Estado do Espírito Santo: Alegre, Atilio Vivácqua, Cachoeiro de Itapemirim, Castelo, Conceição do Castelo, Ibatiba, Ibitirama, Itapemirim, Iúna, Jerônimo Monteiro, Marataízes. Muniz Freire, Muqui, Presidente Kennedy, Vargem Alta e Venda Nova do Imigrante. A bacia possui aproximadamente 5.919,5 km² e um contingente populacional de aproximadamente 410 mil habitantes (IBGE, 2010).

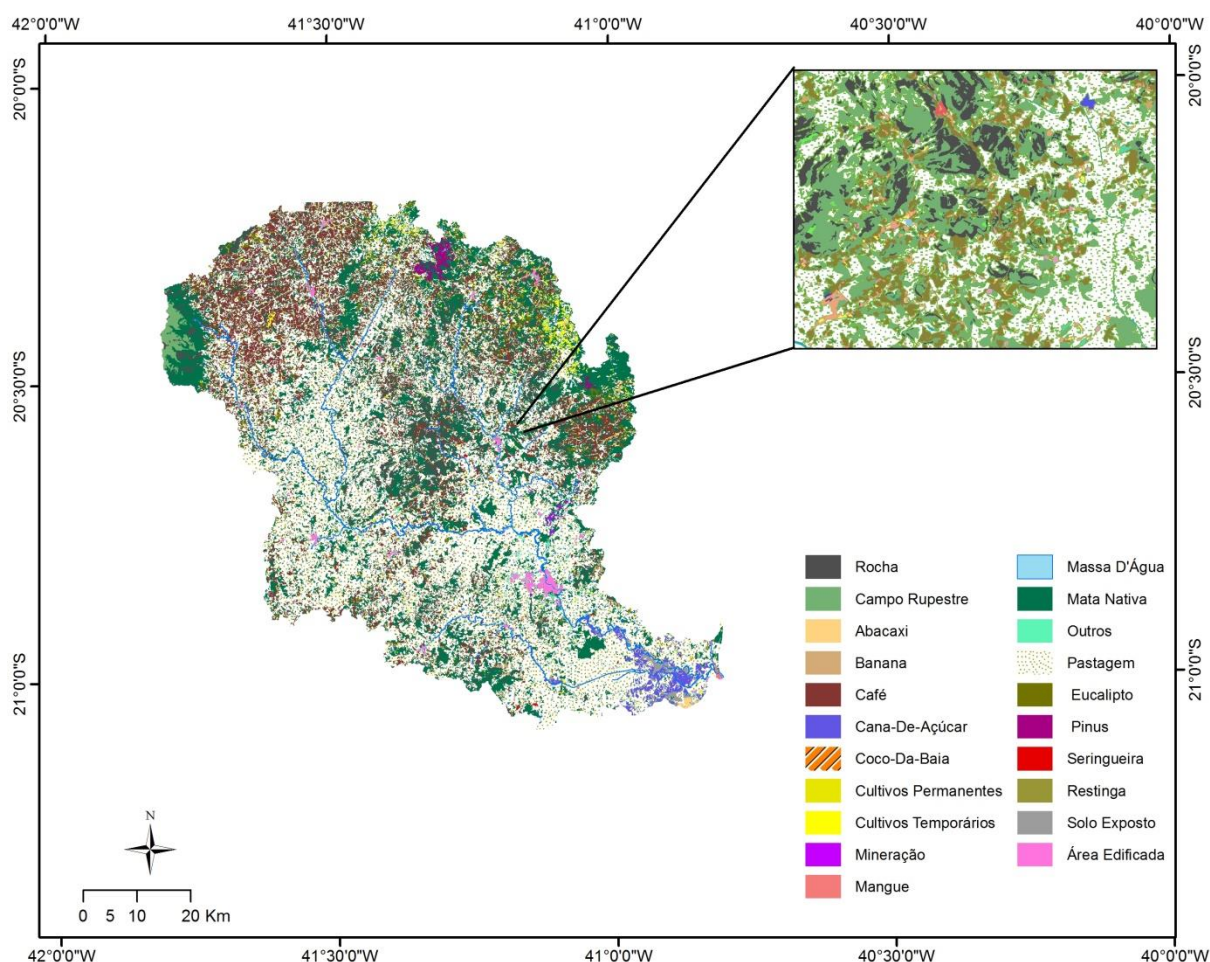
A bacia do rio Itapemirim é de topografia bastante acidentada, especialmente ao longo dos divisores de água da parte oeste, na Serra do Caparaó. Segundo a

classificação de Köppen, a região possui os tipos climáticos Cwa – subtropical úmido, com inverno seco; Cwb – verão temperado na região serrana; e Aw – tropical com inverno seco e verão chuvoso nas regiões mais baixas (ALVARES et al., 2013).

O estudo foi realizado com base no mapa de uso do solo obtido no Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo (GEOBASES), classificado nos anos de 2007 e 2008 (Figura 4), no qual constam as principais culturas e coberturas vegetais existentes na BHRI e suas respectivas áreas (

Tabela 1).

Figura 4. Mapa de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio Itapemirim.



Fonte: Geobases (2008), adaptado pela autora.

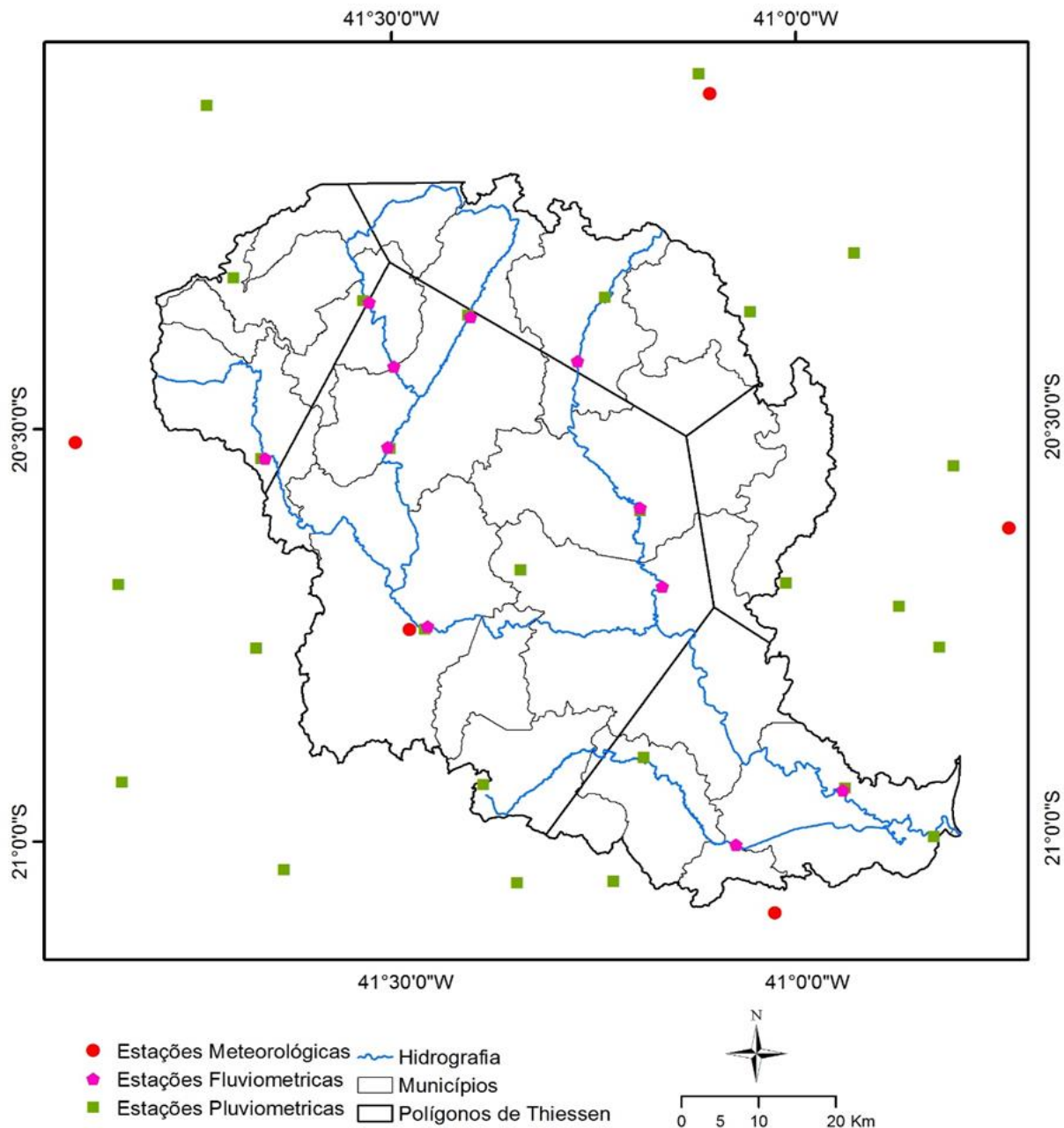
Tabela 1. Classes de uso de solo e áreas da bacia hidrográfica do rio Itapemirim.

Classe	Área (km²)
Pastagem	291.992
Mata nativa	129.408
Café	84.384
Afloramento rochoso	21.883
Eucalipto	12.179
Cultivos temporários	8.330
Solo exposto	6.034
Cana-de-açúcar	5.348
Área edificada	4.114
Campo rupestre/altitude	3.854
Cultivos permanentes	2.690
Massa d'água	2.597
Pinus	2.209
Banana	1.108
Extração mineração	666
Abacaxi	336
Coco-da-baía	197
Seringueira	173
Mangue	135
Restinga	73

Fonte: a autora.

Os dados meteorológicos, incluindo a evapotranspiração potencial (ET_0) calculada pelo método de Penman-Monteith, foram obtidos de Xavier *et al.* (2015). Os dados são referentes à rede de estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Foram utilizados os registros entre o período de 2007 e 2012, com as informações diárias de temperatura máxima e mínima, radiação solar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e ET_0 . Devido à grande extensão da bacia, foi necessário realizar uma divisão da zona de influência de cada estação meteorológica. Essa divisão foi realizada a partir de Polígonos de Thiessen (Figura 5).

Figura 5. Dados climáticos e de vazão: estações meteorológicas do INMET, INCAPER e ANA



Fonte: a autora.

Também utilizaram-se os dados pluviométricos médios mensais considerando um período de 5 anos (2007-2012), obtidos pelas estações meteorológicas do Instituto Capixaba de Pesquisa, da Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e Agência Nacional das Águas (ANA) (Tabela 2).

Tabela 2. Estações fluviométricas, pluviométricas e meteorológicas utilizadas no estudo.

Código	Nome da Estação	Latitude	Longitude
02040005 +	Iconha – Montante	-20,78	-40,83
02040006 +	Usina Paineiras	-20,95	-40,95
02040009 +	Anchieta (DNOS)	-20,80	-40,66
02040011 +	Matilde (DNOS)	-20,56	-40,81
02040017 +	Duas Barras (DNOS)	-20,59	-40,95
02040023 +	São Rafael	-20,30	-40,93
02041000 +	Atilio Vivacqua	-20,91	-41,20
02041001 +	Guaçuí	-20,77	-41,68
02041002 +	Castelo	-20,61	-41,20
02041003 +	Rive	-20,75	-41,47
02041008 +	Dores Do Manhumirim	-20,11	-41,73
02041010 +	Jacigua (DNOS)	-20,70	-41,02
02041011 +	Conceição Do Castelo (DNOS)	-20,35	-41,24
02041013 +	Iúna	-20,35	-41,54
02041014 +	Dores Do Rio Preto	-20,69	-41,85
02041015 +	Fazenda Monte Alegre	-20,94	-41,40
02041016 +	Ibitirama	-20,54	-41,67
02041017 +	Santa Cruz – Caparaó	-20,32	-41,70
02041018 +	Usina Fortaleza	-20,37	-41,41
02041019 +	Itaici	-20,53	-41,51
02041020 +	Arace (Fazenda Modelo)	-20,37	-41,06
02041021 +	Burarama	-20,68	-41,35
02041023 +	Afonso Cláudio – Montante	-20,08	-41,12
02041048 +	Fazenda Vargem Alegre	-20,18	-41,96
02140000 +	Barra Do Itapemirim (DNOS)	-21,01	-40,84
02141014 +	Ponte Do Itabapoana	-21,21	-41,46
02141015 +	Mimoso Do Sul	-21,06	-41,36
02141016 +	São José Do Calçado	-21,04	-41,65
02141017 +	São José Das Torres	-21,06	-41,24
57490000 "	Castelo	-20,66	-41,17
57350000 "	Usina Fortaleza	-20,37	-41,40
57360000 "	Iúna	-20,35	-41,53
57370000 "	Terra Corrida	-20,43	-41,50
57400000 "	Itaici	.20,52	-41,51
57420000 "	Ibitirama	-20,56	-41,66
57450000 "	Rive	-20,74	-41,46
57476500 "	Fazenda Lajinha	-20,42	-41,27
57550000 "	Usina São Miguel	-20,70	-41,17
57580000 "	Usina Paineiras	-20,95	-40,98
57650000 "	Fazenda Cacheta	-21,17	-41,08
A657 *	Afonso Cláudio	-20,10	-41,11
A617 *	Alegre	-20,75	-41,49
A615 *	Alfredo Chaves	-20,64	-40,74
A622 *	Presidente Kennedy	-20,52	-41,90
83639 *	Caparaó	-21,10	-41,04

" Estações Fluviométricas, +Estações Pluviométricas e * Estações Meteorológicas

Os dados fluviométricos utilizados foram obtidos portal Hidroweb (ANA – Agência Nacional das Águas), referentes às estações presentes dentro da bacia do rio Itapemirim, com registros entre os anos de 2007 a 2012.

4.2 DETERMINAÇÃO E AVALIAÇÃO DA PEGADA HÍDRICA

A avaliação da pegada hídrica do presente trabalho foi baseada no Manual de Avaliação de Pegada Hídrica: Definição dos padrões globais, desenvolvido e mantido pela *Water Footprint Network* (WFN) desde 2011. O desenvolvimento desse trabalho foi baseado nas seguintes fases: 1) Definição de objetivos e escopos; 2) Contabilização da pegada hídrica; 3) Avaliação da sustentabilidade da pegada hídrica; e 4) Formulação de resposta da pegada hídrica.

4.2.1 Definição de objetivos e escopos

Definição de objetivos

De acordo com Hoekstra et al. (2011) os objetivos e definições da avaliação da pegada hídrica, são:

1) Qual é a meta final da avaliação da pegada hídrica?

Resposta: Identificação das áreas de maior consumo de água doce.

2) Há um foco em uma fase particular na avaliação?

Resposta: Focar na contabilização da pegada hídrica total da bacia e na avaliação de sua sustentabilidade ambiental.

3) Qual é o âmbito de interesse?

Resposta: Pegada hídrica azul, verde e cinza.

4) Como lidar com o tempo?

Resposta: Visar a avaliação anual da pegada hídrica.

5) Quais são os limites da área a ser avaliada?

Resposta: Bacia hidrográfica do rio Itapemirim.

6) Qual é o campo de interesse?

Resposta: Verificar onde a pegada hídrica da bacia tem o maior consumo e onde viola os padrões ambientais de qualidade da água.

Definição dos Escopos

Para o escopo da contabilização da pegada hídrica, especifica-se:

- 1) Considerar a pegada hídrica azul, verde e/ou cinza?

Definição: Neste trabalho foi considerada a pegada hídrica azul, verde e cinza.

- 2) Qual o nível de resolução espaço-temporal?

Definição: Pegadas hídricas podem ser avaliadas em diferentes níveis de resolução espaço-temporal (Figura 6). Para esse estudo, o nível de resolução espaço temporal é o nível B. (HOEKSTRA et al., 2011).

- 3) Qual período de dados?

Definição: Qualquer que seja o estudo sobre pegada hídrica, deve-se explicitar o período de dados utilizado, pois o período escolhido irá afetar o resultado (HOEKSTRA et al., 2011). O período de dados deste trabalho foi dos anos de 2007 a 2012.

Figura 6. Resolução espaço-temporal na contabilização da pegada hídrica.

	Resolução espacial	Resolução temporal	Fonte de dados necessários sobre uso da água	Uso típico das contabilizações
Nível A	Média global	Anual	Literatura e banco de dados disponíveis sobre o consumo e poluição de água típicos, por produto ou processo.	Ações de conscientização, identificação preliminar dos componentes que mais contribuem para a pegada hídrica total; desenvolvimento de projeções globais do consumo da água.
Nível B	Nacional, regional ou de bacia	Anual ou mensal	Como no caso acima, mas o uso de dados específicos nacionais, regionais ou de bacias.	Identificação preliminar da dispersão e variabilidade espaciais; base de conhecimento para identificação de áreas críticas e decisões sobre alocação de água.
Nível C	Pequena bacia ou gleba	Mensal ou diária	Dados empíricos ou (se não forem diretamente mensuráveis) melhores estimativas do consumo e poluição da água, especificados por local e durante o ano.	Base de conhecimento para a realização de uma avaliação de sustentabilidade de uma pegada hídrica; formulação de uma estratégia para reduzir a pegada hídrica e os impactos locais associados.

Fonte: Hoekstra et al. (2011).

4.2.2 Contabilização da Pegada Hídrica

Na bacia do rio Itapemirim o agrupamento de classes foi baseado de acordo com dos setores mais relevantes economicamente e quanto ao uso da água. Dessa forma, foram considerados os seguintes setores usuários: agricultura, pecuária, florestas, abastecimento e saneamento. Para o cálculo da pegada hídrica na bacia, realiza-se um somatório das estimativas dos componentes azul, verde e cinza desses setores. Esse somatório foi feito a partir do agrupamento das classes do uso e ocupação do solo, no mapa de uso do solo da bacia. Neste trabalho, as classes de uso do solo (Quadro 1) foram agrupadas em três grandes classes: i) classe urbana, ii) classe agrícola e iii) classe florestal.

Quadro 1. Classes de setores usuários da bacia hidrográfica do rio Itapemirim.

Classes	Urbana	Agrícola	Florestal
Setores Usuários	Abastecimento	Agricultura	Florestas Nativas e Plantadas
	Saneamento	Pecuária	

Fonte: a autora.

4.2.2.1 Estimativa para pegada hídrica verde (PH verde)

O setor usuário agrícola compreende as classes de Agricultura e Pecuária, sendo que tais classes contribuem para a água verde proveniente da evapotranspiração das principais culturas (abacaxi, banana, café, cana-de-açúcar e coco-da-baía), incluindo os cultivos permanentes/temporários e pastagens. O setor florestal também contribui na contabilização da água verde pela sua evapotranspiração das áreas de florestas nativas e plantadas. As principais coberturas florestais do mapa de uso e ocupação na bacia do rio Itapemirim, são classificadas em: mata nativa, eucalipto, pinus, seringueira, campo rupestre/altitude, mangue e restinga. Portanto, a pegada hídrica verde total foi estimada a partir da água verde utilizada por esses dois setores usuários da bacia, conforme descrito na Equação 5:

$$PH_{verde} = PH_{verde}_{agrícola} + PH_{verde}_{pastagem} + PH_{verde}_{floresta} \quad (5)$$

Em que,

PHverde = pegada hídrica verde da bacia do rio Itapemirim, m³/ano;
 PHverde_{agrícola} = pegada hídrica do setor agrícola, em m³/ano;
 PHverde_{pastagem} = pegada hídrica das pastagens, em m³/ano;
 PHverde_{florestas} = pegada hídrica verde das florestas, em m³/ano.

Quanto ao setor agrícola, a pegada hídrica verde total do setor foi obtida fazendo-se o somatório da PHverde de cada cultura multiplicada pela sua produção média anual (Anexo A) em cada município (Eq. 6):

$$PHverde_{agrícola} = \sum (PHverde_{cult} \cdot Prod_{cult}) \quad (6)$$

Em que,

PHverde_{cult} = pegada hídrica verde da cultura agrícola, m³/ano; e

Prod_{cult} = produção anual da cultura, ton/ano

A PHverde para cada cultura foi calculada a partir da demanda hídrica da cultura (DHC) dividida pela sua produtividade (P), por intermédio da equação 7.

$$PHverde_{cult} = \frac{DHC}{P} \quad (7)$$

Em que,

DHC = demanda hídrica da cultura, m³/ha; e

P = produtividade da cultura, ton/ha.

A produtividade de cada cultura agrícola foi obtida localmente, junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), para cada município inserido na BHRI.

A DHC de cada cultura foi obtida pela evapotranspiração potencial mensal (ET₀, mm/mês), calculada pelo método de Penman-Monteith, multiplicada pelo coeficiente de cultivo (K_c) e pelo fator de conversão de milímetros para metro cúbico, conforme descrito na equação 8:

$$DHC = 10 \cdot ET_0 \cdot K_c \quad (8)$$

Em que,

ET₀ = evapotranspiração potencial, em mm; e

K_c = coeficiente de cultivo, adimensional.

Os coeficientes de cultivo de cada cultura foram obtidos a partir de dados e do Boletim 24 da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura - FAO 24 (DOORENBOS; PRUITT, 1977), considerando a variabilidade climática e de

altitude. No caso das classes de uso “cultivos permanentes” e “cultivos temporários”, escolheu-se adotar K_c igual a 1, devido ao fato de estarem agrupados em duas classes sem distinção das suas culturas agrícolas.

As pegadas hídricas das áreas de pastagem e coberturas florestais da bacia foram estimadas através do balanço hídrico nas cinco subáreas delimitadas pelos polígonos de Thiessen, pelo método de Thornthwaite e Mather (1955). Para este trabalho, o valor da capacidade de água disponível CAD adotado foi de 100 mm para a pastagem e 300 mm para florestas, de acordo com as recomendações de (PEZZOPANE et al., 2012). As equações 9 e 10 foram utilizadas para as estimativas

$$PH_{verde\ pastagem} = 10 ETR_{pastagem} A_{pastagem} \quad (9)$$

$$PH_{verde\ florestas} = 10 ETR_{florestas} A_{florestas} \quad (10)$$

Em que,

$ETR_{pastagem}$ = Evapotranspiração real da área da pastagem, em mm/ano;

$A_{pastagem}$ = Área de pastagem na bacia, em ha;

$ETR_{florestas}$ = Evapotranspiração real da área de florestas, em mm/ano;

$A_{florestas}$ = Área de florestas na bacia, em ha;

4.2.2.2 Estimativa para a pegada hídrica azul (PH azul)

A pegada hídrica azul é a água usada diretamente nas atividades humanas e agropecuárias, ou seja, a água captada diretamente nos corpos hídricos. Neste trabalho, a água azul foi representada nos setores agrícola e urbano, no que compreendem as classes de pecuária e abastecimento público. Portanto, a pegada hídrica azul total da área da bacia foi o somatório de todos os processos que envolvem a água azul, conforme descrito na equação 11:

$$PH_{azul} = PH_{azul\ abastecimento} + PH_{azul\ pecuária} \quad (11)$$

Em que,

PH_{azul} = Pegada hídrica azul da bacia do rio Itapemirim, em m^3/ano ;

$PH_{azul\ abastecimento}$ = Pegada hídrica da classe abastecimento, em m^3/ano ; e

$PH_{azul\ pecuária}$ = Pegada hídrica da classe pecuária, em m^3/ano .

Na classe pecuária foi contabilizada a água azul usada para a criação de animais, e na classe abastecimento público, a água usada para o consumo da população urbana e rural. A PHazul da classe de florestas não foi contabilizada, pois quando há irrigação, isso ocorre apenas na fase inicial do desenvolvimento da planta, ao contrário dos cultivos agrícolas que muitas vezes depende da irrigação em todos os estágios de desenvolvimento. (ÁGUA BRASIL, 2015). Segundo (HOEKSTRA et al., 2012), a agricultura é responsável por 92% da pegada hídrica global de água azul, sendo o restante dividido igualmente entre a produção industrial e a abastecimento doméstico. Embora a irrigação de culturas seja a principal consumidora de água azul no setor agrícola, nesse trabalho não a contabilizamos de forma discriminada. Ao consideramos no cálculo da pegada verde, que no balanço hídrico sempre há água disponível no solo, a água azul que seria da irrigação já está automaticamente embutida nesse cálculo.

A pegada hídrica da classe de abastecimento público foi subdivida entre o meio urbano e rural devido aos diferentes valores de demanda hídrica. Estes valores serão explicados com base no número de habitantes e demanda média de água por habitante, conforme a equação 12:

$$PHazul_{abastecimento} = PHazul_{urbano} + PHazul_{rural} \quad (12)$$

Em que,

$PHazul_{abastecimento}$ = Pegada Hídrica do abastecimento público, m^3/ano ;

$PHazul_{rural}$ = Pegada Hídrica da zona rural, m^3/ano ; e

$PHazul_{urbano}$ = Pegada Hídrica da zona urbana, m^3/ano .

O consumo urbano foi estimado para cada cidade da bacia de acordo com a quantidade de água fornecida pela companhia de água, seja para uso doméstico ou industrial, sendo este o volume total captado por dia nas estações de tratamento de água. Os dados referentes à quantidade de água fornecida para as cidades foram obtidos pelo Atlas Brasil – Abastecimento Urbano de Água (ANA, 2015). Para o consumo rural, o abastecimento foi calculado pela demanda hídrica média por habitante e o número de habitantes declarados na zona rural em cada município no ano de 2012. Os dados de população foram obtidos junto a estimativa populacional do IBGE em 2012 (IBGE, 2012). A demanda hídrica média por habitante (DH_{hab}) foi obtida a partir do consumo médio per capita em função do porte da comunidade e da

população abastecida (VON SPERLING, 1995; HELLER, 2006), apresentada na Tabela 3.

Tabela 3. Consumo de água médio per capita em função da comunidade e tamanho da população.

Comunidade	Faixa da população (habitantes)	Consumo per capita (L/hab/dia)
Povoado rural	< 5.000	90 a 140
Vila	5.000 a 10.000	100 a 160
Pequena localidade	10.000 a 50.000	110 a 180
Cidade média	50.000 a 250.000	120 a 220
Cidade grande	> 250.000	150 a 300

Fonte: (VON SPERLING, 1995; HELLER, 2006), adaptado pela autora.

As equações 13 e 14 a seguir foram utilizadas para o cálculo da PHazul_{urbano} e PHazul_{rural}.

$$PHazul_{urbano} = \sum \left(\frac{365}{1000} Q_{ETA} \right) \quad (13)$$

$$PHazul_{rural} = \sum \left(\frac{365}{1000} DH_{hab} Hab_{rural} \right) \quad (14)$$

Em que,

Q_{ETA} = vazão de captação de cada estação de tratamento de água, L/dia;

DH_{hab} = Demanda hídrica média por habitante da zona rural, L/habitante/dia; e

Hab_{rural} = Número de habitantes declarados na zona rural.

A pegada hídrica azul da pecuária foi estimada basicamente com relação à criação de bovinos, bubalinos, caprinos, equinos, suínos e aves. Para seu cálculo foram utilizados dados do rebanho municipal e consumo médio diário por animal (CMD_{animal}) (Tabela 4). As informações referentes ao rebanho foram obtidas pelo censo agropecuário do IBGE no ano de 2012 (Anexo B) e os dados sobre consumo de água a partir de estudos da EMBRAPA (PALHARES, 2005, 2013).

Tabela 4. Exemplo do município de Alegre: Demanda hídrica diária por rebanho.

Animais	CMD_{animal} (L/animal/dia)
Bovinos de corte	32

Bovinos de leite	62
Bubalinos	46
Caprinos	15
Equinos	25
Suínos	16
Aves	19

Fonte: Palhares (2005, 2013), adaptado pela autora.

A partir dessas informações foi calculada a pegada azul da pecuária, por intermédio da equação 15:

$$PH_{\text{azul}}_{\text{pecuária}} = \sum \left(\frac{365}{1000} \text{CMD}_{\text{animal}} n_{\text{animal}} \right) \quad (15)$$

Em que,

$\text{CMD}_{\text{animal}}$ = consumo média diário por animal, em L/animal/dia; e

n_{animal} = quantidade de animais por rebanho, animal.

4.2.2.3 Estimativa para a pegada hídrica cinza (PH cinza)

Com relação às pastagens, optou-se por não contabilizar a pegada hídrica cinza das áreas sob pastagens, uma vez que essas são degradadas, não recebem adubação ou manejo adequado e o esterco produzido pelos animais, que percola no solo e atinge os corpos hídricos, é uma fonte difusa de poluição, tornando o cálculo complexo (ÁGUA BRASIL, 2015). Além disso, os poluentes resultantes da atividade pecuária que percolarem pelo solo e atingirem o lençol freático são diluídos e acabam por serem contabilizados nas demais pegadas.

Desta forma, na contabilização da pegada hídrica cinza total (equação 16), foi contabilizada a água cinza proveniente dos setores de agricultura e saneamento, uma vez que esses possuem atividades potencialmente poluidoras dos corpos hídricos.

$$PH_{\text{cinza}} = PH_{\text{cinza}}_{\text{agricultura}} + PH_{\text{cinza}}_{\text{saneamento}} \quad (16)$$

Em que,

PH_{cinza} = Pegada hídrica cinza da bacia do rio Itapemirim, m³/ano;

$PH_{\text{cinza}}_{\text{agricultura}}$ = Pegada hídrica cinza da agricultura, m³/ano; e

$PH_{\text{cinza}}_{\text{saneamento}}$ = Pegada hídrica cinza do saneamento, m³/ano.

No caso da agricultura, optou-se por considerar os fertilizantes nitrogenados como poluentes para estimar a pegada cinza, devido a sua alta taxa de lixiviação e por serem amplamente usados nas principais culturas agrícolas da bacia, e pelo seu conhecido potencial poluidor de rios e lagos. Sendo assim, a PHcinzaagricultura foi estimada, para cada cultivo agrícola, a partir da carga de poluente de nitrogênio lançada anualmente no corpo d'água, do padrão de qualidade da água em seu estado natural para o nitrogênio e de sua concentração natural no corpo d'água receptor, por intermédio da equação 17.

$$PHcinza_{agricultura} = \sum (PHcinza_{cult} \text{ Prod cult}) \quad (17)$$

Em que,

PHcinza_{cult} = Pegada hídrica cinza das culturas agrícolas, em m³/ano.

A pegada hídrica de cada cultura foi estimada de acordo com a carga de fertilizantes aplicada, as concentrações máxima e natural do poluente e a produtividade, conforme descrito na equação 18:

$$PHcinza_{cult} = \frac{L}{\frac{C_{max} - C_{nat}}{P}} \quad (18)$$

Em que,

L = carga de poluente, kg/ano;

C_{max} = concentração máxima aceitável de poluente no corpo hídrico, kg/L; e

C_{nat} = concentração natural do poluente no corpo hídrico, kg/L.

A quantidade de nitrogênio aplicado em cada cultivo foi estimada de acordo com a recomendação básica anual por este nutriente de cada cultura (TA). Tais dados foram obtidos utilizando o Sistema de Recomendações de Adubação e Calagem (planilhas do MS Excel[®]) do INCAPER (PREZOTTI, 2014), conforme consta na Tabela 5. Segundo Hoekstra (2011), para fertilizantes a base de nitrogênio pode-se considerar uma taxa de escoamento (α) de 10% do total aplicado em campo.

Tabela 5. Recomendações de nitrogênio para diferentes culturas

Cultura	Recomendação básica anual de nitrogênio (kg/ha)
Abacaxi	250
Banana	221
Café	231
Cana-de-açúcar	80
Coco-da-baía	160

Fonte: Prezotti (2014)

Sendo assim, a carga de poluente (L) foi obtida conforme a Equação 19.

$$L = \alpha * TA \quad (19)$$

Em que,

L = carga de poluente (kg/ha);

α = taxa de escoamento superficial, adimensional e;

TA = taxa de aplicação do fertilizante (kg/ha).

A concentração máxima do nitrogênio (Cmax) foi determinada com base na legislação vigente enquadrada na classe 2, que segue a resolução do CONAMA nº 357/2005. Na ausência de dados concretos sobre a concentração natural do nitrogênio (Cnat) na bacia, e para não considerar valor nulo, foi adotada a concentração de 1 mg/L para corpos hídricos, encontrada por PASTRO (2015) em microbacias contidas na bacia do rio Itapemirim. As informações referentes as concentrações são apresentadas na tabela 6.

Tabela 6. Concentrações de nitrogênio num corpo hídrico.

Parâmetro	Valor máximo no corpo receptor (Cmax)	Valor natural (Cnat)
Nitrogênio (N)	≤ 21,8 mg/L	≤ 1 mg/L

Fonte: Resolução Conama nº 357, 17/03/2005 e PASTRO (2015).

A PHcinza_{saneamento} foi calculada baseada nos efluentes lançados nos corpos hídricos, sendo a carga de poluente estimada com base no parâmetro Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅). Dentre os vários parâmetros monitorados em amostras de esgoto, a DBO₅ foi escolhida por deter a maior capacidade de contaminação, ou seja, que demanda a maior quantidade de água para sua diluição em concentrações aceitáveis nos corpos hídricos (VIEIRA, 2012).

De acordo com Von Sperling (2005), a quantidade de DBO lançada diariamente nos cursos d'água é de 54 g/habitante/dia. O cálculo da água cinza do saneamento é descrito pela equação 20:

$$PH_{\text{cinza saneamento}} = \sum \frac{\text{carga}_{\text{DBO}_5} \cdot N_{\text{hab}} \cdot 365 \cdot (1-\text{ef})}{C_{\text{max}} - C_{\text{min}}} \quad (20)$$

Em que,

carga_{DBO₅} = carga poluente DBO₅, kg/m³;

N_{hab} = número de habitantes; e

ef = eficiência da remoção da carga de DBO, adimensional.

O sistema de esgotamento sanitário dos municípios da bacia do rio Itapemirim é gerido pelas instituições CESAN, SAAE e Odebrecht Ambiental, que juntas possuem uma eficiência de coleta e tratamento de 73% por esgoto gerado na bacia (CESAN, 2012). Os outros 27% foram considerados como esgoto não tratado.

Para a carga de poluentes não tratados, foi considerado o uso de fossas, comum em comunidades rurais, e o lançamento do esgoto *in natura* nos rios. Para calcular este volume de esgoto, utilizou-se o valor do consumo per capita de água dos municípios e o percentual da população não atendida pela rede de esgotamento sanitário (27%), sendo que na ausência de dados concretos, nesse trabalho estipulou-se que 13,5% foi considerado esgoto proveniente de fossas e 13,5% não passou por nenhum tratamento. Ainda considerou-se que o uso de fossas pode remover cerca de 50% da DBO₅ (VIEIRA; SOUSA JUNIOR, 2015). Sendo assim, a carga de DBO₅ diária média foi multiplicada pela população não atendida pela rede de esgotamento e o resultado multiplicado pelo produto entre o consumo diário médio de água per capita e a vazão de retorno.

A concentração máxima do poluente DBO₅ num corpo d'água (C_{max}) foi adotada de acordo com a legislação vigente na área de estudo (5 mg/L), com base nas Resoluções 357/2005 e 430/2011 do CONAMA que dispõem sobre a qualidade das águas. Utilizou-se, para a concentração do poluente em condições naturais, o valor estabelecido por Von Sperling (2005) – Tabela 7. O valor de C_{nat} foi o mesmo para toda a bacia, uma vez que esta variável não foi medida em campo.

Tabela 7. Concentrações de DBO₅ no corpo hídrico.

Parâmetro	Valor máximo no corpo receptor (C _{max})	Valor natural (C _{nat})
-----------	--	-----------------------------------

Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	≤ 5 mg/L	≤ 2 mg/L
--------------------------------------	----------	----------

Fonte: Resolução Conama nº 357, 17/03/2005.

4.3 AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE

A avaliação da sustentabilidade da PHverde e da PHazul foi feita com base nos indicadores de escassez de água (EA). Como exposto anteriormente, esses indicadores são a razão entre a PH e a disponibilidade de água num determinado período. Nesse trabalho, esse período de estudo da PH da bacia do rio Itapemirim é anual, mas a análise da sustentabilidade foi avaliada mensalmente.

Para a análise de sustentabilidade da PHcinza, o indicador utilizado foi o nível de poluição da água (NPA). Após a avaliação, a bacia foi classificada como sustentável, aceitável ou insustentável, de acordo com as suas características

Para o escopo da avaliação de sustentabilidade, primeiramente foi definida a perspectiva. No caso deste projeto foi tomada a perspectiva geográfica, ou seja, a bacia hidrográfica. Assim como para a contabilização da PH, foi usada a seguinte lista para avaliar a sustentabilidade:

- 1) Considerar a sustentabilidade da pegada hídrica verde, azul e/ou cinza?
Definição: Sustentabilidade da pegada hídrica verde, azul e cinza;
- 2) Considerar a dimensão de sustentabilidade ambiental, social e/ou econômica?
Definição: Será considerada a dimensão de sustentabilidade ambiental.
- 3) Identificar somente áreas críticas ou analisar detalhadamente impactos primários e/ou secundários nessas áreas?
Definição: Somente áreas críticas serão identificadas.

4.3.1 Sustentabilidade pegada hídrica verde

A pegada hídrica verde de uma bacia torna-se crítica ambientalmente quando ela excede disponibilidade da água verde. A disponibilidade de água verde (DAverde) em uma bacia, num determinado período, é definida como a evapotranspiração total da água da chuva, chamada de evapotranspiração verde (ETverde), menos a soma

da evapotranspiração reservada para a vegetação natural, ou evapotranspiração ambiental (ET_{amb}) e da evapotranspiração das áreas não produtivas (ET_{improd}) (HOEKSTRA et al., 2011), como descrito na equação 21:

$$DA_{verde} = ET_{verde} - ET_{amb} - ET_{improd} \quad (21)$$

Em que,

DA_{verde} = Disponibilidade de água verde, m^3/ano ;

ET_{verde} = Evapotranspiração da água da chuva, m^3/ano ;

ET_{amb} = Evapotranspiração da cobertura vegetal natural, m^3/ano ;

ET_{improd} = Evapotranspiração das áreas improdutivas, m^3/ano .

A evapotranspiração verde foi estimada a partir dos dados pluviométricos mensais médios para os municípios presentes na bacia hidrográfica, em que total médio precipitado para cada cidade foi considerado a ET_{verde} , em $m^3/mês$.

A evapotranspiração ambiental foi o somatório da evapotranspiração das áreas de coberturas vegetais (florestas, restinga, mangue) quantificadas na bacia. Os valores de ETR foram obtidos por balanço hídrico. Nesse trabalho, foram consideradas como áreas não produtivas os seguintes usos do solo: área edificada, solo exposto, estradas e afloramentos rochosos.

A escassez da água verde em uma bacia é o total de pegadas hídricas verdes na bacia dividida pela disponibilidade da água verde (Eq. 22):

$$EA_{verde} = \frac{PH_{verde}}{DA_{verde}} \quad (22)$$

Em que,

EA_{verde} = Escassez de água verde;

PH_{verde} = Pegada hídrica verde da bacia, m^3/ano ;

DA_{verde} = Disponibilidade de água verde, m^3/ano .

A escassez da água verde deve se manter entre 0 e 0,9 (ou 0% a 99%) para ser considerada sustentável ambientalmente. Uma escassez maior que igual ou maior que 1 (ou 100%) significa que toda a água disponível foi consumida e então a pegada é insustentável.

4.3.2 Sustentabilidade pegada hídrica azul

A pegada hídrica azul total de uma bacia é igual à soma de todas as pegadas hídricas azuis dos processos que ocorrem dentro da bacia. A pegada hídrica azul dentro de um período específico, em uma dada bacia, torna-se um ponto crítico quando ela excede a disponibilidade de água azul. Esta disponibilidade (DAazul), em uma bacia, é definida como o escoamento natural na bacia (Qnat) menos a chamada demanda de vazão ambiental (DVA) (HOEKSTRA et al., 2011), de acordo com a equação 23:

$$DA_{azul} = Q_{nat} - DVA \quad (23)$$

Em que,

DAazul = Disponibilidade de água azul na bacia, m³/ano.

Qnat = Escoamento natural da bacia, em m³/dia

DVA = Demanda de vazão ambiental da bacia, m³/dia.

A demanda de vazão ambiental é definida pela quantidade e periodicidade das vazões necessárias para sustentar os ecossistemas de água doce e as comunidades que dependem desses ecossistemas. Existem diferentes formas de calcular a demanda de vazão ambiental, como a proposta por Hoekstra et al. (2011). Nesse trabalho, para a demanda de vazão ambiental considerou-se como a vazão de referência mínima Q90 (VIEIRA, 2012). Na bacia do rio Itapemirim, a Q90 é regulamentada pela instrução normativa do IEMA nº 19/2005, inclusive para termos de outorga. Dessa forma, foram consideradas tais vazões em cada uma das sub-bacias que compõem a BHRI.

Por sua vez, o escoamento natural da bacia (Qnat) foi calculado pela soma das vazões mensais médias da cada sub-bacia mais a pegada hídrica azul. Foram utilizados os dados das estações fluviométricas presentes na bacia, no período de 2007 a 2012.

A escassez de água azul em uma bacia (EA azul) é a divisão entre as pegadas hídricas azuis totais na bacia (ΣPH_{azul}) e a disponibilidade de água azul (DAazul):

$$EA_{azul} = \frac{PH_{azul}}{DA_{azul}} \quad (24)$$

Em que,

EAazul = Escassez de água azul;

PHazul = Pegada hídrica azul na bacia, m³/ano.

Uma escassez de água azul de 100% significa que a água azul disponível foi totalmente consumida. Uma escassez de água azul acima de 100% não é sustentável.

A escassez de água azul depende do tempo, podendo variar dentro de um mesmo ano e de um ano para outro.

4.3.3 Sustentabilidade pegada hídrica cinza

A sustentabilidade da pegada hídrica cinza total depende do escoamento disponível na bacia para assimilar os efluentes. Uma pegada hídrica cinza em um período específico em uma dada bacia torna-se um ponto crítico quando os padrões de água em seu estado natural naquele período e naquela bacia são violados, ou seja, quando a capacidade de assimilação de resíduos for totalmente consumida (HOEKSTRA et al., 2011).

Ainda, de acordo como o mesmo autor, como indicador de impacto local, pode-se usar o nível de poluição da água (NPA) em uma bacia e medir a poluição. Esse nível é definido como a fração consumida da capacidade de diluição de efluentes e calculado pela razão da pegada hídrica cinza com o escoamento real de uma bacia (Q_{real}). Um nível de poluição de água de 100% indica que a capacidade de assimilação de resíduos foi totalmente utilizada. Quando o nível de poluição excede 100%, os padrões de qualidade da água em seu estado natural são violados. O nível de poluição da água calculado para uma bacia é dado conforme a equação 25:

$$NPA = \frac{\sum PH_{cinza}}{Q_{real}} \quad (25)$$

Em que,

NPA = Nível de poluição da água na bacia;

Q_{real} = Escoamento real da bacia, m^3/ano .

Para esta análise considerou-se a vazão mensal média das sub-bacias como o escoamento real, Q_{real} .

4.4 ANÁLISES DE CENÁRIOS

A simulação de cenários de uso e ocupação do solo na BHRI foi empregada com o intuito de avaliar o comportamento da pegada hídrica com acréscimo de cobertura florestal proposto pelo Programa Reflorestar. Em junho de 2011, o Governo do Estado lançou o Programa Reflorestar – Programa Estadual de Ampliação da

Cobertura Florestal. O orçamento inicial é de R\$ 200 milhões e a meta é aumentar a área preservada no Espírito Santo em 30 mil hectares até 2014, e 80 mil hectares até 2020. Com o objetivo de potencializar os esforços para a preservação da Mata Atlântica, as ações e iniciativas estaduais que visam à conservação e recuperação dos recursos naturais foram integradas pelo programa (INCAPER, 2011)

Tendo em vista esse importante programa estadual, escolheu-se simular a pegada hídrica verde para a classe florestal, considerando o aumento em florestas na bacia proporcional ao proposto pelo programa para todo o Estado. Nesse caso, o aumento de 80 mil hectares de área preservada em todo o estado do Espírito Santo, bacia corresponde a cerca de 10 mil hectares de aumento de florestas desse total ou cerca de 8% em área. Com isso, simularam-se alguns cenários de incremento florestal.

Isso posto, para a simulação de cenário, foi considerado o acréscimo gradativo da área florestal em 8%, 10% e 15%, utilizando as áreas de pastagem da bacia para esses cenários reflorestamento. Dessa forma, as simulações foram feitas de acordo com a área atual de mata na bacia, 129.408 mil hectares, e da área atual de pastagens, 291.992 mil hectares. Logo, um aumento de 10.353,0 hectares reflorestados corresponde a 8% da área da bacia, de 12.940,8 hectares, representa os 10%, e 19.411,2 hectares plantados, aumenta em 15% a cobertura florestal. Sendo assim, simulação visou avaliar o comportamento da pegada hídrica verde, em relação às demais, de forma mais coerente.

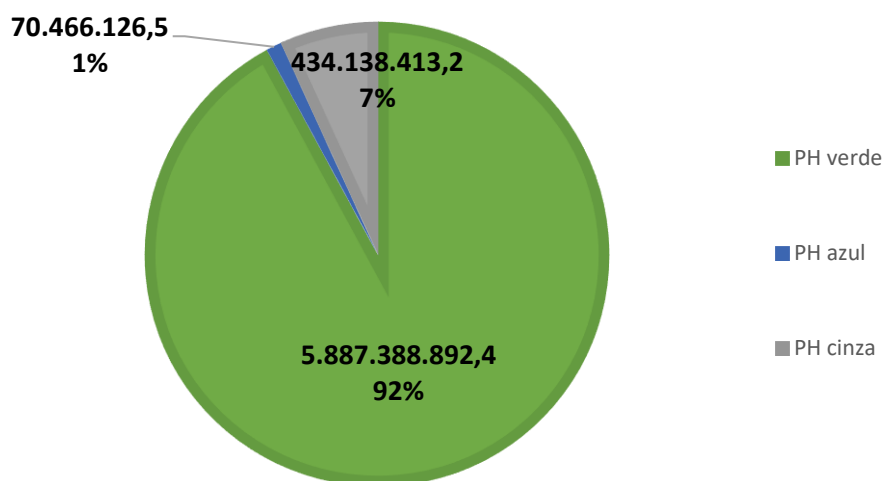
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 PEGADA HÍDRICA TOTAL DA BACIA DO RIO ITAPEMIRIM

A pegada hídrica total de uma bacia é o somatório das pegadas hídricas azul, verde e cinza dos setores avaliados. Após a contabilização desses componentes a pegada hídrica total para a bacia do rio Itapemirim foi igual a 6,4 bilhões m³/ano. O volume de água contabilizado para cada uma das pegadas é apresentado na Figura 7. Conforme pode ser observado, a maior contribuição para a pegada da bacia hidrográfica foi da água verde, que representou 92% da pegada hídrica total. A pegada

cinza correspondeu a 7% da pegada hídrica da bacia e o restante, apenas 1%, foi atribuído a pegada hídrica azul.

Figura 7. Pegada hídrica total (m³/ano) da bacia do rio Itapemirim separada pelos tipos.



De acordo com Mekkonen e Hoekstra (2011), a média global da pegada hídrica em bacias hidrográficas, para os anos de 1996 a 2005, é representada pela pegada verde com 73,5% (produção de culturas), seguida da pegada cinza com 15% do total (esgoto doméstico e industrial) e apenas 11,5% para a pegada azul (abastecimento humano, animal e industrial). A distribuição da pegada hídrica na BHRI é levemente diferente da avaliação global das bacias, uma vez que não é considerado o esgoto e abastecimento industrial. Nesse caso, a pegada total da bacia encontra-se abaixo da média global.

Zeng et al. (2012), em estudo realizado na bacia do rio Heihe, considerou o setor agrícola (produção de culturas e criação de gado), industrial e doméstico, sendo uma área de agricultura intensa e baixos índices pluviométricos. Nesse caso, encontraram a pegada verde como a maior consumidora de água, com 54% (956 milhões m³/ano) da PH total. A pegada azul representou 46% (811 milhões m³/ano), uma vez que a irrigação é necessária. A pegada cinza não foi considerada.

5.2 PEGADA HÍDRICA AZUL

Considerando a captação e uso das águas superficiais nos setores de abastecimento e a parte da pecuária relativa ao consumo de água pelos animais, tem-se a contabilização da água azul utilizada na bacia.

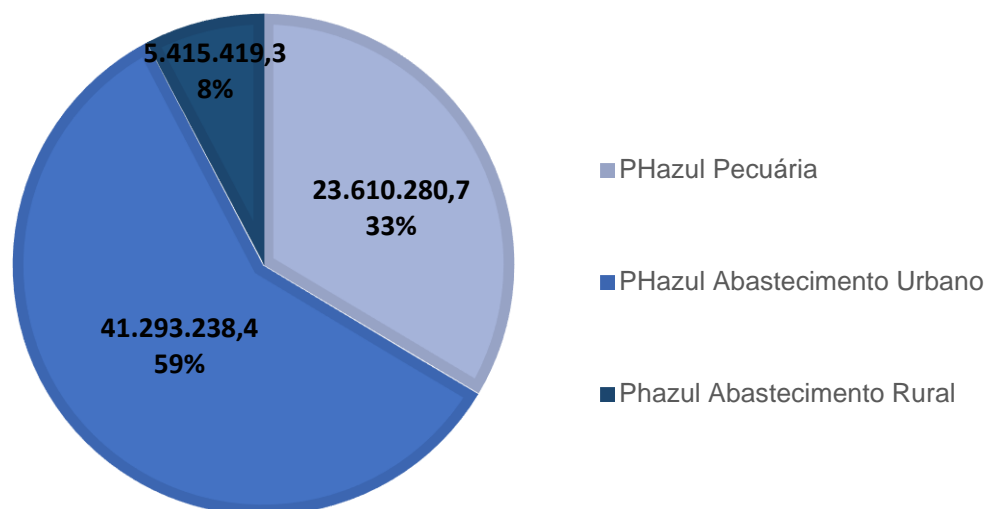
Para o setor de abastecimento, os resultados foram divididos em consumo de água azul no meio urbano e rural. A pegada hídrica azul urbana foi de 41,2 milhões de m³/ano, sendo que o município de Cachoeiro de Itapemirim obteve a maior pegada azul, igual a 25,9 milhões m³/ano (Tabela 8). Esse resultado era esperado, pois a cidade de Cachoeiro é a maior e mais populosa da bacia, possuindo o maior complexo de distribuição de água tratada, com 100% da população atendida (ODEBRECHT AMBIENTAL, 2016). A pegada azul rural foi de 5,4 milhões de m³/ano. A pegada hídrica azul do setor abastecimento foi igual a 46,7 milhões m³/ano.

Tabela 8. Pegada hídrica azul urbana por município da bacia do rio Itapemirim.

Cidade	PHazul (m³/ano)	(%)
Alegre	3.542.120,6	7,6
Atílio Vivacqua	440.558,6	0,9
Cachoeiro De Itapemirim	25.912.992,5	55,5
Castelo	3.128.688,7	6,7
Conceição Do Castelo	621.173,4	1,3
Ibatiba	1.922.535,3	4,1
Ibitirama	747.191,5	1,6
Irupi	936.549,8	2,0
Itapemirim/Marataízes	4.038.097,3	8,6
Íluna	819.417,7	1,8
Jerônimo Monteiro	791.761,6	1,7
Muniz Freire	723.650,8	1,5
Muqui	1.159.606,8	2,5
Presidente Kennedy	0,00	0,0
Vargem Alta	710.041,8	1,5
Venda Nova Do Imigrante	1.214.271,0	2,6
Pegada hídrica azul dos municípios	46.708.657,7	100

No setor da pecuária, a parte que compreende o uso da água azul, a pegada foi igual a 23,6 milhões m³/ano. O somatório dessas pegadas é a pegada hídrica azul da bacia do rio Itapemirim, sendo igual a 70,3 milhões m³/ano (Figura 8)

Figura 8. Pegada hídrica azul (m^3 /ano) para a bacia hidrográfica do rio Itapemirim.



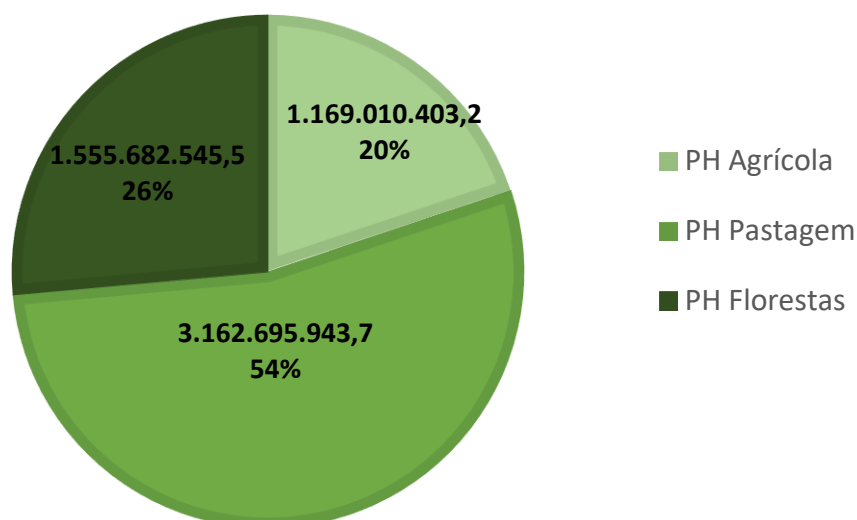
Observa-se que as duas classes que envolvem abastecimento (urbano e rural) detém 67% da pegada azul total. Feng et al. (2012), avaliaram a pegada azul na bacia do rio Amarelo, na China, mostrando que o uso da água no abastecimento urbano consumiu um volume duas vezes maior do que no setor rural; situação semelhante à da bacia do rio Itapemirim. Ainda de acordo com Feng et al. (2012), a maior pegada de água para a população urbana também está ligada ao consumo de bens e serviços, que aumentam a demanda hídrica da população. Dentro da PHazul, o uso direto da água para o consumo urbano foi bastante representativo por não se considerar neste trabalho a irrigação do setor agrícola no cálculo da pegada azul de forma separada, pois a água azul da irrigação está parcialmente contabilizada na PHverde.

5.3 PEGADA HÍDRICA VERDE

A pegada hídrica verde foi avaliada para os setores onde houve o consumo de água na evapotranspiração, sendo eles: agricultura, florestas e pastagem, na classe agrícola. Com base da demanda hídrica das culturas e sua produtividade, totalizou-se uma pegada hídrica verde da agricultura de 1,2 bilhões m^3 /ano.

Na Figura 9 é apresentado um gráfico comparativo entre as pegadas verdes.

Figura 9. Pegada hídrica verde (m³/ano) da bacia hidrográfica do rio Itapemirim.



Para as florestas, a pegada hídrica foi a soma da água verde, obtida pela evapotranspiração real das florestas nativas da região, como Mata Atlântica, campo de altitude, restinga e mangues, e do reflorestamento com eucalipto, seringueira e pinus. O total da pegada hídrica verde dessas coberturas vegetais foi 1,5 bilhões m³/ano. Para a pecuária, foi contabilizada a pegada verde da pastagem na bacia através da evapotranspiração real dessas áreas, num total de 3,2 bilhões m³/ano.

Portanto, a pegada hídrica verde total da bacia é o somatório da pegada verde dessas três coberturas vegetais, sendo igual a 5,9 bilhões m³/ano.

Quando se compara os setores que envolvem a pegada hídrica verde, observamos que a pegada hídrica da pastagem é o dobro das pegadas para agricultura e florestas. Isso pode ser atribuído pela vasta área que esse tipo de vegetação ocupa na bacia, cerca de 50% do território, enquanto as florestas e agricultura ocupam 25% e 17%, respectivamente.

Na Tabela 9, apresenta-se a relação entre o volume de chuva precipitado nos municípios e na bacia que é incorporado na pegada verde.

Tabela 9. Relação do volume de chuva precipitado com a pegada verde nos municípios.

Municípios	PH Pastagem (m ³ /ano)	Chuva (%)	PH Florestas (m ³ /ano)	Chuva (%)	PH Agrícola (m ³ /ano)	Chuva (%)
Alegre	600.744.807,3	54	156.240.912,6	14	80.108.381,2	7
Atílio Vivacqua	152.925.584,9	54	47.076.900,5	17	27.028.093,0	11
C. De Itapemirim	588.166.971,0	48	217.489.075,7	18	92.857.774,3	8

Castelo	295.263.363,2	30	239.179.161,4	25	160.687.207,4	17
Conceição do Castelo	115.713.954,8	23	169.851.597,6	33	70.287.642,4	14
Ibatiba	62.235.820,9	23	39.956.680,8	15	91.959.220,0	34
Ibitirama	139.078.007,3	29	148.861.784,4	31	63.684.045,6	13
Irupi	60.604.304,7	24	34.844.095,1	14	85.268.690,3	34
Itapemirim	288.487.704,5	55	54.095.620,0	10	67.792.472,8	13
Íluna	109.383.387,6	29	64.346.644,8	17	114.378.186,5	31
Jerônimo Monteiro	115.829.542,8	51	29.659.405,7	13	32.220.623,9	14
Marataízes	54.574,9	3	559.999,9	30	277.704,5	13
Muniz Freire	387.488.914,9	39	207.278.434,8	21	122.038.019,3	12
Muqui	159.755.134,1	45	77.242.269,6	22	39.332.677,2	11
Presidente Kennedy	58.279.313,6	72	9.935.593,6	12	1.399.085,8	2
Vargem Alta	56.232.241,0	18	149.209.659,2	48	60.041.205,3	19
V. Nova Do Imigrante	29.924.032,0	12	89.314.682,6	35	59.649.373,7	24
Bacia	3.220.167.659,4	40	1.735.142.518,3	22	1.169.010.403,2	15

De acordo com o exposto na tabela acima, a pegada verde da pastagem é a maior consumidora com cerca de 40% de todo o volume de chuva que é, em média, precipitado na bacia ao ano. As florestas e a agricultura incorporam cerca de 22% e 15%, respectivamente, desse volume de chuva.

Em relação aos municípios, Presidente Kennedy, Itapemirim e Alegre são os locais em que suas respectivas áreas de pastagem mais utilizam a água proveniente da chuva, consumindo um percentual de 72% a 54% do volume de chuva médio que ocorre nessas cidades. Considerando a pegada hídrica das florestas, Vargem Alta, Venda Nova do Imigrante e Conceição do Castelo, são as cidades que concentram grandes áreas de mata ainda preservadas e/ou reflorestadas. Em vista disso, essas áreas consomem de 48% a 33% da chuva. Já em relação à agricultura, os municípios de Ibatiba, Irupi e Íluna, que tem suas economias baseadas na produção agrícola, detêm o percentual de chuva absorvido apenas pela agricultura, variando entre 34% e 31%.

Na tabela 10, está relacionado os resultados para o percentual total da água da chuva que é convertida em pegada verde utilizada por município e na bacia.

Tabela 10. Relação do volume total de chuva com a pegada hídrica verde na bacia

Municípios	Total de chuva incorporado (%)
Alegre	75
Atílio Vivacqua	75
C. De Itapemirim	73
Castelo	72
Conceição do Castelo	70
Ibatiba	71

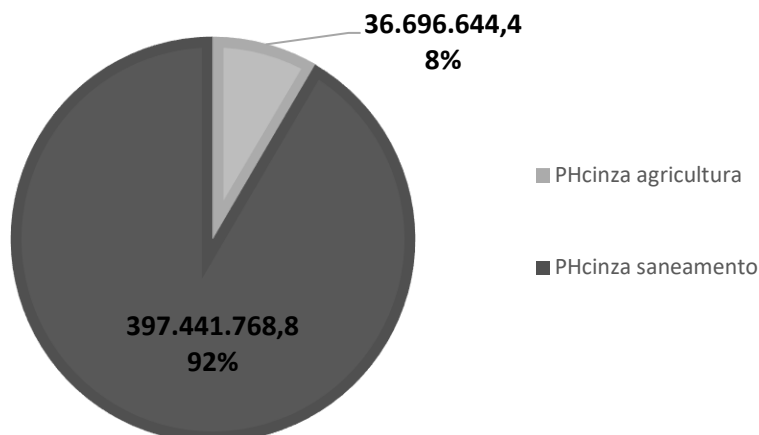
Ibitirama	73
Irupi	72
Itapemirim	78
Iúna	77
Jerônimo Monteiro	78
Marataízes	46
Muniz Freire	73
Muqui	78
Presidente Kennedy	86
Vargem Alta	85
V. Nova Do Imigrante	71
<hr/>	
Bacia	75
<hr/>	

Em termos de disponibilidade de água da chuva, é importante salientar que a PHverde dessas diferentes coberturas vegetais (pastagem, florestas e agricultura) consomem uma fração de até 75% do total precipitado. Dessa forma, toda essa água interceptada pela vegetação é absorvida e/ou fica retida no solo e não chega aos corpos hídricos para recarga. Sendo assim, pode-se considerar a pegada verde como a principal consumidora de água doce superficial dentro da bacia do rio Itapemirim. Como todo esse processo é natural, logo este é um quadro permanente na bacia, onde mantendo os níveis de chuva dentro da média ou não, sempre a vegetação irá utilizar a maior parte da água disponível.

5.4 PEGADA HÍDRICA CINZA

A pegada hídrica cinza envolve a água utilizada para a diluição da poluição nos corpos hídricos. Os setores analisados nesse trabalho, considerados fontes poluidoras, foram a agricultura, pela fração do uso de fertilizantes nitrogenados que atinge os mananciais, e o saneamento, pelo esgoto doméstico gerado na bacia do rio Itapemirim. Os resultados são apresentados da figura 10.

Figura 10. Comparativo da pegada hídrica cinza (m^3/ano) da bacia hidrográfica do rio Itapemirim.



Para a pegada hídrica cinza da agricultura foi considerada a carga de nitrogênio aplicado nas principais culturas da bacia, de acordo com suas respectivas produtividades. Dessa forma, a pegada cinza da agricultura foi igual a 36,7 milhões m^3/ano . No setor de saneamento, calculado conforme a carga de DBO_5 no esgoto tratado e não tratado, a pegada hídrica cinza foi igual a 397 milhões m^3/ano . A pegada hídrica cinza total da bacia é de 434,1 milhões m^3/ano , sendo o saneamento responsável por 92% desse total.

Quanto à pegada total da bacia, o componente cinza foi responsável por 7% do total. Isso indica a importância da pegada cinza no total da pegada hídrica, especialmente quando se considera que o valor da água cinza é calculado utilizando altas taxas de tratamento de esgoto.

O nitrogênio é um dos principais fertilizantes usados na agricultura e a fração de N que chega nos mananciais causa a degradação da qualidade da água (MEKONNEN; HOEKSTRA, 2015). Estes mesmos autores concluíram que cerca de 75% da pegada cinza é proveniente da agricultura, quando comparada a carga de N lançada pelos setores industrial e doméstico. No caso deste trabalho, foram utilizadas cargas de poluentes diferentes para cada setor, sendo que a carga de DBO_5 é maior do que a carga de N lançada nos rios. Dessa forma, a pegada cinza do saneamento foi bem mais representativa. A participação do nitrogênio na pegada cinza é relativamente pequena, cerca de 8%, o que representa uma estimativa conservadora. Segundo (MEKONNEN; HOEKSTRA, 2015), ao analisar somente o volume

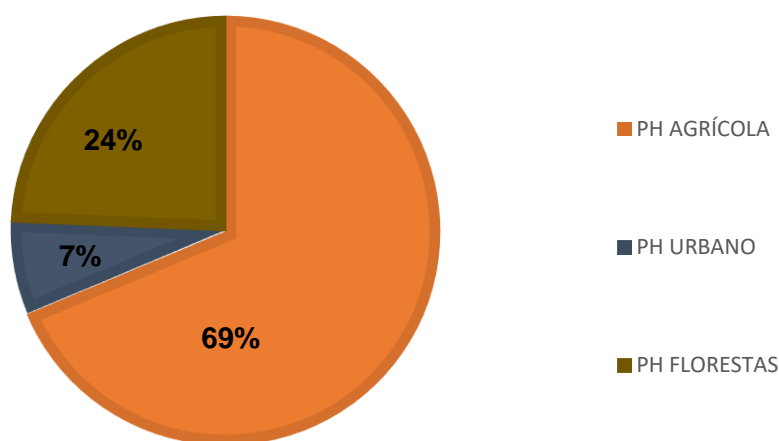
necessário para a assimilação de fertilizantes nitrogenados escoados, desconsiderando-se poluentes relevantes, tais como o fósforo e pesticidas, pode-se obter uma pegada cinza subestimada.

Esses resultados corroboram com Pellicer-Martínez e Martínez-Paz (2016), em estudo realizado para a bacia do rio Segura, Espanha, onde a maior parte da pegada hídrica cinza foi proveniente das demandas urbanas, sendo a concentração dos poluentes geradas no meio urbano mais sensível para o cálculo da pegada hídrica cinza.

5.5 PEGADA HÍDRICA DAS CLASSES URBANA, AGRÍCOLA E FLORESTAL

Sobre as classes de setores usuários na bacia, os resultados são demonstrados na Figura 11. A classe agrícola, composta pelos setores de agricultura e pecuária, foi a que apresentou a maior pegada hídrica na bacia: 4,4 bilhões m³/ano. Dessa forma, foi responsável por 69% da pegada total por classes, sendo a principal atividade na bacia.

Figura 11. Comparativo das pegadas hídricas (m³/ano) por classe de uso do solo.



A classe de florestas, que compreende as áreas de florestas nativas e plantadas, obteve pegada igual a 1,5 bilhão m³/ano, e para a classe urbana obteve-se o valor de 444 milhões m³/ano, representando 24% e 7% da pegada hídrica da bacia, respectivamente.

Em relação à pegada verde, Zeng et al. (2012), avaliando a pegada hídrica verde e azul na bacia do rio Heihe (China), mostra que a maior contribuição foi relacionada a produção agrícola (94%) e que o consumo de água verde pela vegetação, em geral, representou 6%. De forma semelhante, na bacia do rio Itapemirim, a maior parte da água verde também indicou estar relacionada com o setor agrícola. De acordo com Zeng et al. (2012), o setor agrícola contribuiu com 96% da pegada hídrica, sendo 92% na agricultura e 4% na pecuária. Os outros 4% foram representados pelos setores industrial e doméstico. Dessa forma, observa-se que a demanda por água é muito superior pela classe agrícola, em relação a classe de abastecimento, que envolve a pegada azul. Vieira et al. (2014) também observou o mesmo comportamento das pegadas, sendo a pegada verde do setor agropecuário quatro vezes maior do que no setor de abastecimento, em avaliação da pegada hídrica para a cidade de Guaratuba, em São Paulo

Isso posto, nota-se que as principais atividades que consomem água doce na bacia são a agrícola e florestas, relacionadas a água da chuva (água verde). Como já dito anteriormente, fica evidente que a água da chuva acaba por ser indisponibilizada para outros setores e não chega aos rios. Portanto, o consumo de água doce pelo setor urbano não pode ser responsabilizado pela escassez hídrica do abastecimento, comum em alguns meses do ano, visto que representa o menor consumo dentre os setores.

Os resultados referentes à classe urbana são detalhados na tabela 11.

Tabela 11. Resultados da pegada hídrica para a classe urbana.

Setores	PH (m³/ano)	(%)
PHazul abastecimento	46.708.657,7	11
PHcinza saneamento	397.441.768,8	89
PHTotal Urbano	444.150.426,5	100

A partir desses resultados expostos é possível verificar que a quantidade de água cinza necessária para assimilar a carga de esgoto, mesmo que tratado, é consideravelmente superior ao volume captado nos rios para o abastecimento da população, sendo igual a 89%.

A pegada azul, presente no abastecimento urbano, representa a menor fração dentre as pegadas, correspondendo a 11% do uso da água doce superficial. Esses

resultados corroboram com os valores obtidos por Zeng et al (2012), em que os setores doméstico e industrial contribuíram com cerca de 4% da pegada azul.

Em relação à pegada hídrica da classe agrícola, destaca-se o consumo majoritário da água verde pela pastagem e agricultura, sobretudo nas áreas de pasto. Os resultados são apresentados na tabela 12:

Tabela 12. Resultados da pegada hídrica da classe agrícola.

Setores Agrícola	PH (m³/ano)	(%)
PHverde pastagem	4.331.706.346,9	98
PHazul pecuária	23.757.468,7	0.5
PHcinza agricultura	36.696.644,4	1
PH Agrícola	4.392.160.460,1	100

Verifica-se que o consumo de água azul para a pecuária representou menos de 1% da pegada agrícola, seguido de apenas 1% para a pegada cinza, proveniente do uso de fertilizantes nitrogenados.

A pegada da classe florestal, representada exclusivamente pela água verde, foi a que obteve a menor pegada dentre as classes. A cobertura florestal ocupa cerca de 25% da área total da bacia, e o consumo e incorporação da água verde é o necessário apenas para a manutenção desse ecossistema, não se mostrando um dos maiores responsáveis por uma possível diminuição da disponibilidade de água doce na bacia.

Portanto, mesmo que em termos de volume total final a pegada verde seja maior, ela não representa uma situação crítica, uma vez que a água utilizada é oriunda de uma fonte limpa (água da chuva). Ainda de acordo esses resultados, e com Vieira et al (2015), a contaminação dos cursos d'água contabilizada na pegada cinza representa a principal pressão sobre os recursos hídricos regionais, visto o grande volume de água necessário para assimilar a poluição do esgotamento sanitário

Diante de todos os resultados apresentados, verifica-se que a classe agrícola, é a principal atividade antrópica na bacia, onde se demanda o maior volume de água para a manutenção das culturas e pastagens e abastecimento dos rebanhos.

5.6 SUSTENTABILIDADE DA PEGADA HÍDRICA AZUL

Realizou-se a análise de sustentabilidade nesse trabalho visando avaliar a pegada hídrica em relação à disponibilidade de água azul e seu nível de escassez. Para isso, a avaliação foi feita por sub-bacias mensalmente, de forma que se pudesse obter resultados mais detalhados sobre a dinâmica do consumo de água azul na bacia.

A contabilização da pegada hídrica azul foi feita anualmente; todavia, recomenda-se, para a análise da sustentabilidade, que esta seja feita diariamente ou mensalmente, devido a variação da disponibilidade de água durante o ano. Na ausência de dados mensais, assumiu-se que os valores do consumo de água azul foram constantes durante todo o ano e, dessa forma, a pegada azul anual foi distribuída igualmente durante os doze meses.

Na tabela 13 são apresentados os resultados da análise de sustentabilidade das sub-bacias, com seus respectivos índices de escassez, EA.

Tabela 13. Resultados do índice de escassez azul (EAazul, %) por sub-bacias.

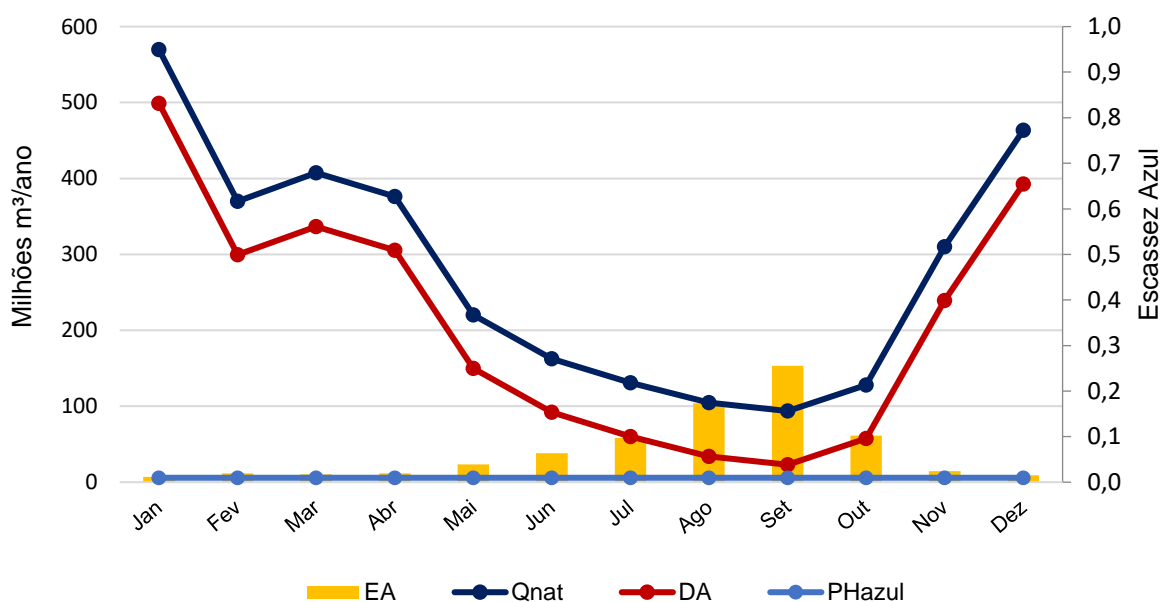
	Usina Fortaleza	Fazenda Lajinha	Ibitirama	Iúna	Terra Corrida Montante	Castelo	Itaici	Usina São Miguel	Rive	Fazenda Caixeta	Usina Paineiras
	EAazul	EAazul	EAazul	EAazul	EAazul	EAazul	EAazul	EAazul	EAazul	EAazul	EAazul
Jan	0	3	0	1	1	2	0	4	0	1	1
Fev	0	4	1	1	1	3	1	6	1	1	2
Mar	0	4	1	1	1	3	1	5	1	1	2
Abr	0	4	1	1	1	3	1	5	1	1	2
Mai	1	8	2	3	2	6	1	11	2	2	4
Jun	1	13	4	4	3	11	3	17	3	3	7
Jul	2	19	7	5	5	16	5	26	4	5	11
Ago	11	35	15	8	8	23	9	47	7	8	20
Set	12	58	10	9	9	35	15	79	9	9	31
Out	3	20	2	6	6	14	5	28	4	6	11
Nov	0	5	0	2	1	3	1	7	1	1	2
Dez	0	3	0	1	1	2	0	5	0	1	1

Para cada sub-bacia hidrográfica e cada mês, foi obtido um índice de escassez de água, com base na relação entre a pegada azul e a sua disponibilidade (escoamento natural menos a demanda de vazão ambiental). Em todas as sub-bacias e para todos os meses (Tabela 13), a PHazul foi inferior a 79% do escoamento natural daquele mês. Isso significa que existe pouca ou nenhuma escassez de água e a bacia satisfaz plenamente a exigência da demanda de vazão ambiental daquele mês, ou seja, a pegada azul pode ser considerada sustentável ambientalmente.

No entanto, nota-se que as sub-bacias de Castelo, Fazenda Lajinha e Usina São Miguel apresentam índices de sustentabilidade mais elevados do que as demais, sobretudo ao final da estação seca (julho a outubro). Provavelmente, por serem sub-bacias menores, com menores valores de vazão, estas estejam sujeitas a uma maior pressão sob os recursos hídricos disponíveis.

Na bacia do rio Itapemirim como um todo, o escoamento natural (Qnat) e a disponibilidade de água azul (DA) variam durante o ano na bacia, como mostrado na Figura 12.

Figura 12. Sustentabilidade de pegada azul da bacia hidrográfica do rio Itapemirim.



Nota-se que a vazão mensal é alta nos meses de janeiro a abril e de novembro a dezembro, ocorrendo uma queda nos meses de fevereiro e de maio a outubro. Verifica-se, ainda, que no mês de setembro a disponibilidade de água azul é muito baixa e quase coincide com a pegada azul do referido mês, aproximando-se de uma

situação insustentável naquele momento do ano. Esse comportamento é típico para a região onde se encontra a bacia do rio Itapemirim, devido ao clima predominante na bacia com verão chuvoso e inverno seco, fato que interfere diretamente nas vazões. De acordo com Hoekstra et al. (2012), em algumas bacias, uma grande parte do escoamento anual ocorre em algumas semanas ou meses, gerando inundações durante uma parte do ano e seca durante a outra parte.

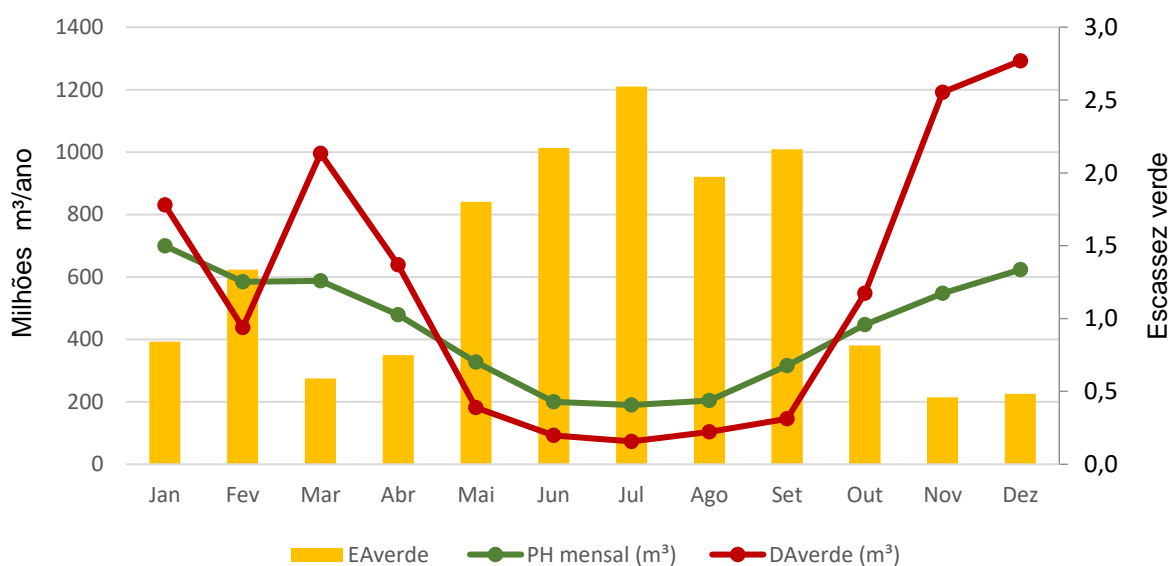
5.7 SUSTENTABILIDADE DA PEGADA HÍDRICA VERDE

A escassez geral de água normalmente está ligada à escassez da água azul, no entanto, a disponibilidade de água verde também é limitada, sobretudo, em meses ou períodos de secas rigorosas como vem acontecendo nos últimos anos, a partir de 2013.

A sustentabilidade verde, foi calculada baseada na pegada hídrica verde mensal da bacia, em relação a disponibilidade de água verde. Essa disponibilidade é oriunda da evapotranspiração total da água da chuva, menos a evapotranspiração da vegetação natural e das áreas não produtivas.

Os resultados para a sustentabilidade ambiental verde são apresentados Figura 13:

Figura 13. Sustentabilidade da pegada verde da bacia hidrográfica do rio Itapemirim.



De acordo com os resultados apresentados na figura 13 a pegada verde se mostrou insustentável na maior parte do ano, principalmente nos meses de maio a setembro, com destaque para junho, em que o índice de escassez foi de 2,59. Essa insustentabilidade da pegada verde era esperada, pois foi a maior pegada em volume de água total, sendo característica da BHRI uma redução dos índices pluviométricos, diretamente ligada a água verde, no período de abril a outubro.

Essa situação de insustentabilidade ambiental verde é uma realidade de região, uma vez que as áreas das principais coberturas vegetais são contínuas ou sofrem pouca alteração em suas áreas. No caso das florestas, o que ainda resta de mata nativa deve ser preservada ou aumentada por reflorestamentos. Quanto a agricultura, forte ramo da economia local, suas áreas também tendem a crescer.

De acordo com as estimativas, a pegada verde excedeu a disponibilidade de água verde em sete meses do ano (Fig. 13), sendo expressivamente insustentável em quatro meses (fevereiro, junho, julho e agosto) e moderadamente em dois meses (setembro e abril). Nos meses de novembro, dezembro e janeiro houve alta disponibilidade de água verde (chuva). Em meados no ano, ocorre a estação seca, com uma menor quantidade de chuva disponível para as atividades agrícolas e florestais, quando muitas vezes os requisitos hídricos das culturas não são atendidos, causando redução na produção agrícola e prejuízos econômicos.

5.8 SUSTENTABILIDADE DA PEGADA HÍDRICA CINZA

Para a análise de sustentabilidade da pegada hídrica cinza, utilizou-se o nível de poluição de água (NPA), obtido através da pegada cinza da bacia e o seu escoamento real. Assim como na sustentabilidade da pegada azul, avaliou-se mensalmente, onde a pegada cinza anual foi dividida igualmente para os meses do ano e calculada por sub-bacias, conforme apresentado na tabela 14.

Tabela 14. Resultados do nível de poluição de água (NPA, %) por sub-bacias.

	Usina Fortaleza	Fazenda Lajinha	Ibitirama	Iúna	Terra Corrida Montante	Castelo	Itaici	Usina São Miguel	Rive	Fazenda Caixeta	Usina Paineiras
	NPA	NPA	NPA	NPA	NPA	NPA	NPA	NPA	NPA	NPA	NPA
Jan	2	4	4	6	6	7	4	7	3	6	8
Fev	2	6	7	10	10	10	6	10	5	10	12
Mar	2	5	7	9	9	9	5	9	5	9	11
Abr	3	7	11	11	12	11	7	10	7	12	14
Mai	4	11	18	14	17	17	10	15	10	17	21
Jun	5	14	25	17	20	22	13	20	12	20	28
Jul	6	17	31	19	23	26	15	24	15	23	34
Ago	7	20	36	20	26	29	17	26	17	26	39
Set	7	19	29	19	26	29	17	26	16	26	38
Out	5	15	16	17	22	22	14	21	12	22	29
Nov	2	6	6	11	12	10	7	10	6	12	13
Dez	2	4	4	7	8	7	4	7	4	8	9

Observa-se que em todas as sub-bacias a pegada cinza foi sustentável, sendo que para as sub-bacias de Ibitirama, Terra Corrida Montante, Castelo, Usina São Miguel, Fazenda Caixeta e Paineiras a pegada cinza apresentou níveis próximos ou maiores que 30%, onde o NPA é agravado no período de seca da região, quando a quantidade de água para a diluição dos poluentes é reduzida. Ainda assim, nem toda a água disponível foi utilizada para a diluição da poluição causada pelo esgoto lançados nos rios. Nos meses chuvosos para a região da bacia, em que normalmente ocorre um aumento da vazão, que vai de outubro a março, o índice NPA fica abaixo de 20% em todas as sub-bacias,

A sustentabilidade cinza se mostra estável, em todas as sub-bacias, devido ao lançamento de poluentes urbanos ser constante durante o ano, bem como a variabilidade nas taxas de aplicação de fertilizantes nitrogenados e sazonalidade do período em que são aplicadas as culturas. Em relação à distribuição espacial, observa-se que mesmo as sub-bacias próximas à foz, também apresentam maiores índices no nível de poluição das águas apesar do maior volume em vazão. Isso está relacionado à carga de poluente que se acumula ao longo dos afluentes que compõem a bacia e não são capazes de serem totalmente assimilados.

5.9 ANÁLISE DE CENÁRIOS

As projeções geradas para o aumento da área florestal baseada no projeto Reflorestar do governo do Estado do Espírito Santo, geraram os seguintes resultados que podem ser observados na Tabela 15.

Tabela 15. Resultados para a análise de cenários

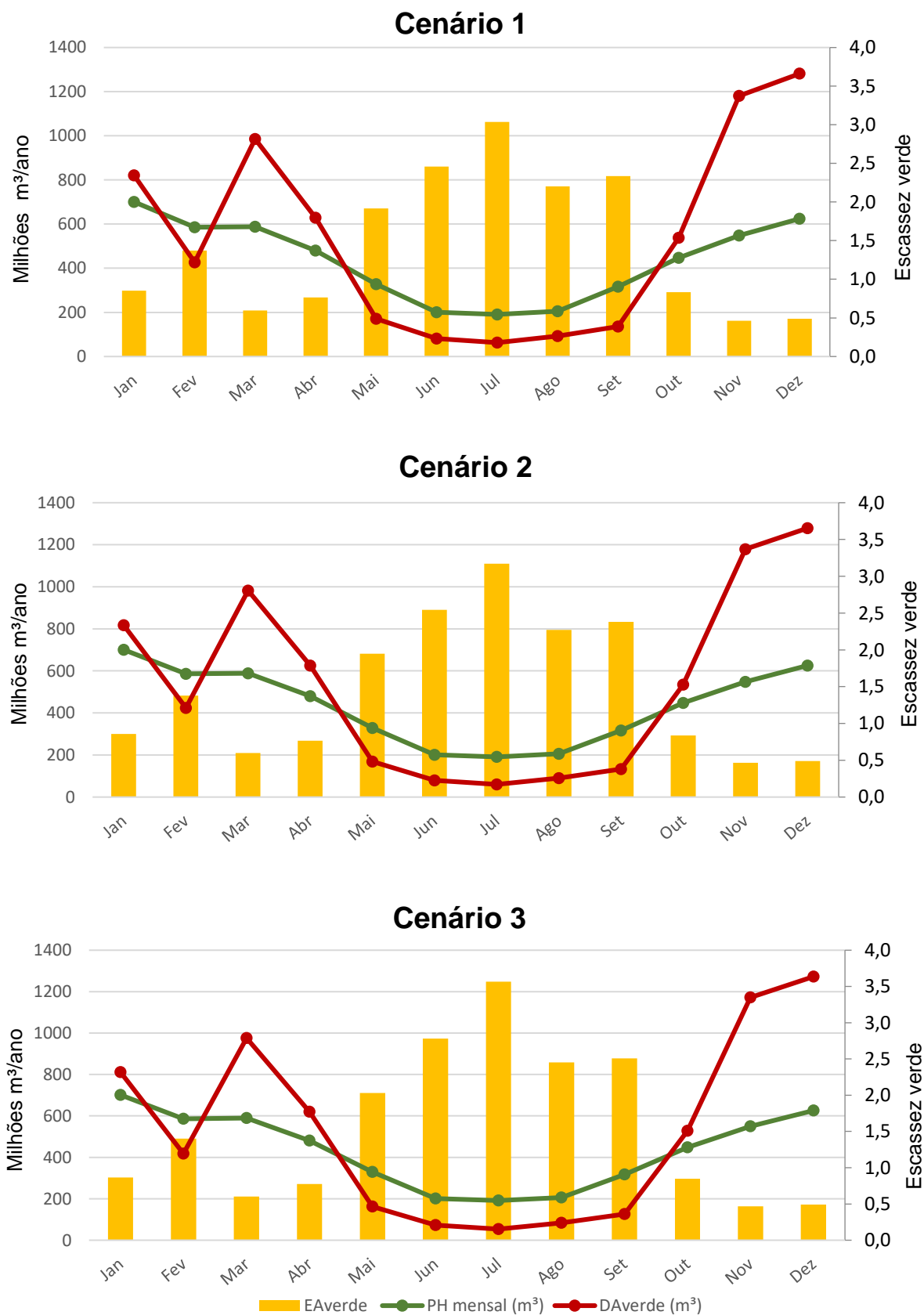
Cenário Atual		
PH verde	5.887.388.892,5	
PH azul	70.466.126,5	
PH cinza	434.138.413,2	
PH Bacia rio Itapemirim	6.391.993.432,1	
Cenário 1		Aumento na PH
PH verde	5.899.709.248,5	
PH azul	70.466.126,5	
PH cinza	434.138.413,2	0,19%
PH Bacia rio Itapemirim	6.404.313.788,2	
Cenário 2		Aumento na PH
PH verde	5.902.789.547,3	
PH azul	70.466.126,5	
PH cinza	434.138.413,2	0,24%
PH Bacia rio Itapemirim	6.407.394.086,9	
Cenário 3		Aumento na PH
PH verde	5.910.489.874,7	
PH azul	70.466.126,5	
PH cinza	434.138.413,2	0,36%
PH Bacia rio Itapemirim	6.415.094.414,4	

O aumento da área florestal na bacia implica em um acréscimo no componente verde da pegada hídrica e, conseqüentemente, um aumento no valor da pegada hídrica total da bacia. A adição de 8% de área florestal, em detrimento de pastagens e solo exposto, correspondeu a um aumento de 0,19% na pegada total. Já para o incremento de 10% de florestas, representou cerca de 0,24% a mais na pegada da bacia. Se a área florestal fosse ampliada em 15%, isso significaria uma elevação de 0,36% na PH da BHRI. Essas diferenças não implicam nos valores da pegada azul e cinza.

Observa-se, ainda, que apesar do aumento na pegada hídrica da bacia, a proporção entre as pegadas se mantém, sendo que a componente verde continua representando cerca de 92% de toda a água consumida na BHRI.

A análise de sustentabilidade para os cenários pode ser observada na Figura 14.

Figura 14. Sustentabilidade verde para os diferentes cenários



Em relação à sustentabilidade ambiental, com o acréscimo florestal houve também um aumento da insustentabilidade, sobretudo em meado no ano. A escassez verde que antes atingiu 2,59 no mês de julho, para o mesmo mês durante os cenários chegou ao índice máximo de 3,04, 3,17 e 3,57, respectivamente. Como toda a vegetação depende desse tipo de água para a sua sobrevivência, a insustentabilidade nesse período causa um estresse hídrico para as culturas e florestas, falta de alimento para o gado que depende das pastagens e prejuízo financeiro para produtores rurais.

Com as projeções dos cenários é possível verificar que uma maior cobertura florestal afeta a dinâmica da água na bacia proposta pelo cálculo da pegada hídrica. A pegada verde é dependente apenas da água proveniente da chuva e o reflorestamento de áreas sub-utilizadas e/ou pastagens degradadas que visa garantir a disponibilidade de água em vazão pode ser prejudicado. Para manter esse balanço é necessário que as médias de chuva sejam suficiente para o uso na vegetação, uma vez que somente a pegada verde utiliza mais de 70% da água da chuva.

6 CONCLUSÕES

Tomando como base os resultados deste trabalho, a pegada hídrica total da BHRI foi 6,4 bilhões de m³/ano, sendo que a maior contribuição foi dada pela água verde com 92% da pegada hídrica total, no âmbito dos tipos de pegada. Quanto às classes de setores usuários da bacia, a classe agrícola, sobretudo pela componente água verde, foi a que mais consumiu água doce na bacia.

A pegada verde apresentou o maior consumo em volume total de água, sendo a maior parte da água verde utilizada pelas pastagens, seguida da água verde usada no atendimento dos requisitos da produção agrícola e a menor parte consumida pelas áreas de florestas presentes na bacia. A pegada azul abasteceu plenamente as demandas hídricas da população e animal, obtendo o menor volume de água dentre as pegadas. A pegada cinza foi a segunda maior consumidora de água doce da bacia, exigindo volume de água inferior aos disponíveis no escoamento real para a diluição da poluição causada pelos efluentes de esgoto doméstico e fertilizantes nitrogenados.

A classe urbana, compreendendo os setores de abastecimento e saneamento, consumiu a menor parte da água superficial disponível na bacia. A pegada cinza do saneamento teve participação muito superior à pegada azul do abastecimento, demonstrando a alta demanda hídrica do sistema de esgotamento sanitário. Na classe agrícola, a maior parte da pegada foi consumida pela água verde da agricultura e pastagens, seguida da água cinza da poluição agrícola e da pegada azul para a dessedentação dos rebanhos. A classe florestal apresentou a segunda maior pegada dentre as classes, sendo a água verde utilizada somente para a manutenção dos ecossistemas, das áreas de reflorestamento e remanescentes de mata nativa.

A pegada hídrica verde apresentou-se insustentável do ponto de vista ambiental durante parte do ano, principalmente nos meses de maio a agosto, caracterizado pelo inverno seco na região da bacia.

Quanto pegada azul, a bacia se mostrou sustentável ambientalmente durante todo o ano e em todas as sub-bacias estudadas. Dessa forma, fica claro que a água azul atende ao abastecimento urbano e animal, sem interferir na disponibilidade de água dos rios que compõem a bacia do rio Itapemirim.

A pegada hídrica cinza foi sustentável ambientalmente uma vez que não superou em volume de água a disponibilidade de água doce na bacia.

As simulações de cenários para um incremento florestal na bacia do rio Itapemirim mostraram que as florestas aumentariam a pegada hídrica total da bacia e influenciam pouco na dinâmica de água.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas Brasil - Abastecimento Urbano de Água**. Disponível em:

<<http://atlas.ana.gov.br/atlas/forms/analise/Geral.aspx?est=9#>>. Acesso em: 14 abr. 2016

ÁGUA BRASIL. **Pegada Hídrica das Bacias Hidrográficas**. Resumo Executivo. s.d. Disponível em <<http://bbaguabrasil.com.br/#publicacoes-e-estudos>> Acesso em: 15 jan. 2015.

ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., GONÇALVES, J. L. DE. M., SPAROVEK, G., Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**. v. 22, n. 6, p. 711–728. 2013.

CESAN. **Relatório Anual e de Sustentabilidade 2012**. 2012.

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

DOORENBOS, J. PRUITT, W.O. **Necessidade hídrica para culturas**. FAO, Roma, 1977, (Boletim: 24).

EMPINOTTI, V. JACOBI, P. R. **Pegada Hídrica: Inovação, corresponsabilização e os desafios de sua aplicação**. Editora Annablume, São Paulo. 176 p., 2012.

FENG, K. et al. Assessing regional virtual water flows and water footprints in the Yellow River Basin, China: A consumption based approach. **Applied Geography**, v. 32, n. 2, p. 691–701, 2012.

FREITAS, S.C., CHAVES, H. M. L. Estimativa da pegada hídrica cinza relativa ao fósforo na bacia hidrográfica do ribeirão pipiripau (DF/GO). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. V.19, n.3, p. 141-149, jul-set. 2014.

GASPARINI, K. A. C. **Regionalização de vazões para a bacia hidrográfica do rio Itapemirim, ES**. 2014. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2014.

HOEKSTRA, A. Y. **Water neutral: Reducing and offsetting the impacts of water footprints**. 2008.

HOEKSTRA, A. Y. et al. **The Water Footprint Assessment Manual**. 2011.

HOEKSTRA, A. Y. et al. Global Monthly Water Scarcity: Blue Water Footprints versus Blue Water Availability. **PLoS ONE**, v. 7, n. 2, p. e32688, 29 fev. 2012.

HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K. Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern. **Water Resources Management**, v. 21, p. 35–48, 2007.

HOEKSTRA, A. Y. **The water footprint assessment manual: setting the global standard**., 2011

HOEKSTRA A. Y. CHAPAGAIN A. K. Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern. **Water Resources Management**, 2007. p. 35 - 48.

HOEKSTRA, A. Y. et al. **The Water Footprint Assessment Manual**: setting the global standard. Washington: EARTHSCAN, 2011. 224 p.

HOEKSTRA, A.Y. **Water neutral: reducing and off-setting the impacts of water footprints**. Value of Water Research Report Series. n. 28, 2008.

INCAPER - Instituto de Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. **Programa Reflorestar**. Disponível em <<http://www.incaper.es.gov.br/>> Acesso em 15 maio. 2016

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2012/>>. Acesso em: 15 abr. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE**). **Censo Demográfico 2010**. Disponível em <www.ibge.gov.br> Acesso em 15 jul. 2015.

IEMA (Instituto Estadual do Meio Ambiente) 2012. **Bacias hidrográficas do estado do Espírito Santo**. Disponível em <<http://www.meioambiente.es.gov.br>> Acesso em 22 ago. 2015.

LEÃO, R. S. Pegada Hídrica: Visões E Reflexões Sobre Sua Aplicação. **Revista Ambiente & Sociedade**. São Paulo, v. 16, n. 4, p. 159-162, out.-dez. 2013.

ODEBRECHT AMBIENTAL. **Odebrecht Ambiental Água e Esgoto**. Disponível em: <<http://www.odebrechtambiental.com/cachoeiro-de-itapemirim/agua-e-esgoto/sua-agua/>>. Acesso em: 2 maio. 2016.

PALHARES, J. C. P. **Estimando consumo de água de suínos, aves e bovinos em uma propriedade**. 2005.

PALHARES, J. C. P. **Consumo de água na produção animal**. São Carlos, SP. 2013.

PELLICER-MARTÍNEZ, F.; MARTÍNEZ-PAZ, J. M. Grey water footprint assessment at the river basin level: Accounting method and case study in the Segura River Basin, Spain. **Ecological Indicators**, v. 60, p. 1173–1183, 2016.

PEZZOPANE, J. E. M. et al. **Agrometeorologia: Aplicações para o Espírito Santo**. Alegre. ES. 174p. 2012.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS (PNUD). Relatório do Desenvolvimento Humano - **A água para lá da escassez: poder, pobreza e a crise mundial da água**. Nova York. 41p. 2006.

PORTO, M. F. A., PORTO, R. L. L. Gestão de Bacias Hidrográficas. **Revista Estudos Avançados**, v.22, n.63, p.43-59, 2008.

ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial.

SEIXAS, V. S. DE C. Análise da pegada hídrica de um conjunto de produtos agrícolas. **Ambiente & Sociedade**, v. 5, p. 89, 2011.

SILVA, V. de. P. R. da, ALEIXO, D. de O., DANTAS NETO, J., MARACAJÁ, K. F. B., ARAÚJO, L. E. de, Uma medida de sustentabilidade ambiental: Pegada hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.17, n.1, p.100–105, 2013

TCCC and TNC (The Coca-Cola Company and The Nature Conservancy) 2010. **Product Water Footprint Assessments: Practical Application in Corporate Water Stewardship**. TCCC, Atlanta e TNC, Arlington

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 1997. (Col. ABRH de Recursos Hídricos), v.4.

VAN OEL, P. R. HOEKSTRA, A. Y. The green and blue water footprint of paper products: Methodological considerations and quantification. **Value of Water Research Report Series**. n 46, UNESCO-IHE, Delft, Netherlands. 2010. Disponível em <www.waterfootprint.org/Reports/Report46WaterFootprintPaper> Acesso em 10 set. 2015.

VIEIRA, B. C. **Pegada Hídrica sob cenários de expansão urbana e mudanças climáticas em um município do litoral norte de São Paulo**. 2014, 170 f. Tese (Mestrado em Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica) Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

VIEIRA, B.; SOUSA JUNIOR, W. CONTRIBUIÇÕES PARA ABORDAGEM MUNICIPAL DA PEGADA HÍDRICA: ESTUDO DE CASO NO LITORAL DE SÃO PAULO. **Ambiente & Sociedade**, v. 18, n. 3, p. 231–252, 2015.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias)**. vol. 1. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 452p. 2005.

YU, Y., HUBACEK, K., FENG, K. S. AND GUAN, D. Assessing regional and global water footprints for the UK. **Ecological Economics**, v. 69, n. 5, p.1140–1147. 2010.

WWAP (2009). **The United Nations World Water Development Report 3: Water in a changing world, World Water Assessment Programme**. UNESCO. Ed. Paris/Berghahn Books, Nova York.

ZENG, Z., LIER, J., KOENEMAN, P.H., ZARATE, E., HOEKSTRA, A.Y. Assessing water footprint at river basin level: a case study for the Heihe River Basin in northwest China. **Hydrology and Earth System Science**, n. 16, p. 2771–2781. 2012

ZENG, Z. et al. Assessing water footprint at river basin level: A case study for the Heihe River Basin in northwest China. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 16, n. 8, p. 2771–2781, 2012.

ZHAO, X.; CHEN, B.; YANG, Z. F. Applying the Input-Output Method to Account for Water Footprint and Virtual Water Trade in the Haihe River Basin in China. **Environmental Science & Technology**, v. 44, n. 23, p. 9150–9156, 2010.

Anexo A. Produção, produtividade e áreas das culturas por município.

Municípios	Cultura	Produção (ton/ano)	Produtividade (ton/ha)	Área (há)	Kc
Itapemirim	Abacaxi	4.950	33	150	0,6
	Banana	142	4	40	0,8
	Café	272	1	360	0,9
	Cana-de-Açúcar	390.000	60	6.500	0,8
	Coco-da-baía	1750	35	50	0,9
	Cultivos permanentes	928	33	28	1
	Cultivos temporários	16214	17	940	1
Alegre	Abacaxi	x	x	x	0,6
	Banana	833	7	119	0,8
	Café	6650	1	5649	0,9
	Cana-de-Açúcar	2500	5	50	0,8
	Coco-da-baía	305	6	14	0,9
	Cultivos permanentes	342	1	x	1
	Cultivos temporários	2346	3	x	1
Atilio Vivacqua	Abacaxi	x	x	x	0,6
	Banana	2016	10	210	0,8
	Café	2993	1	4066	0,9
	Cana-de-Açúcar	1200	60	20	0,8
	Coco-da-baía	420	35	12	0,9
	Cultivos permanentes	155	2	67	1,0
	Cultivos temporários	2859	43	66	1
Castelo	Abacaxi	x	x	x	0,6
	Banana	2375	10	250	1,0
	Café	11781	1	10585	0,9
	Cana-de-Açúcar	4680	40	117	0,8
	Coco-da-baía	833	10	25	0,9
	Cultivos permanentes	517	1	x	1
	Cultivos temporários	11718	10	x	1
Cachoeiro de Itapemirim	Abacaxi	x	x	x	0,6
	Banana	1160	5	250	0,8
	Café	7011	1	5577	0,9
	Cana-de-Açúcar	13500	45	300	0,8
	Coco-da-baía	1400	10	40	0,9
	Cultivos permanentes	53640	115	x	1
	Cultivos temporários	22691	45	x	1
Conceição do Castelo	Abacaxi	x	x	x	0,6
	Banana	1440	10	150	0,8
	Café	3808	1	3862	0,9
	Cana-de-Açúcar	x	x	x	0,8
	Coco-da-baía	x	x	x	0,9
	Cultivos temporários	1501	2	x	1
Ibatiba	Abacaxi	x	x	x	0,6
	Banana	36	4	x	0,8
	Café	10450	1	x	0,9
	Cana-de-Açúcar	300	30	x	0,8
	Coco-da-baía	x	x	x	0,9
	Cultivos permanentes	188	2	x	1
	Cultivos temporários	7268	25	x	1

Municípios	Culturas	Produção (ton/ha)	Produtividade (ton/ha)	Área (ha)	Kc
	Banana	750	15	3	0,8
	Café	10450	1	9500	0,9
	Cana-de-Açúcar	400	50	8	0,8
	Coco-da-baía	x	x	x	0,9
	Cultivos permanentes	200	3	x	1
	Cultivos temporários	7271	30	x	1
Irupi	Abacaxi	x	x	x	0,6
	Banana	296	15	20	0,8
	Café	12733	1	10412	0,9
	Cana-de-Açúcar	125	25	5	0,8
	Coco-da-baía	x	x	x	0,9
	Cultivos permanentes	100	3	x	1
	Cultivos temporários	1360	5	x	1
Itapemirim	Abacaxi	4950	33	150	0,6
	Banana	142	4	40	0,8
	Café	272	1	360	0,9
	Cana-de-Açúcar	390000	60	6500	0,8
	Coco-da-baía	1750	35	50	0,9
	Cultivos permanentes	928	33	28	1
	Cultivos temporários	16214	17	940	1
Íluna	Abacaxi	x	x	x	0,6
	Banana	420	15	28	0,8
	Café	23593	2	14343	0,9
	Cana-de-Açúcar	300	30	10	0,8
	Coco-da-baía	x	x	x	0,9
	Cultivos permanentes	739	13	x	1
	Cultivos temporários	2023	9	x	1
Jerônimo Monteiro	Abacaxi	x	x	x	0,6
	Banana	x	x	x	0,8
	Café	3602	2	2178	0,9
	Cana-de-Açúcar	x	x	x	0,8
	Coco-da-baía	700	10	20	0,9
	Cultivos permanentes	1050	12	x	1
	Cultivos temporários	948	6	x	1
Marataízes	Abacaxi	47	33	1414	0,6
	Banana	x	x	x	0,8
	Café	x	x	x	0,9
	Cana-de-Açúcar	120000	60	2000	0,8
	Coco-da-baía	350	10	10	0,9
	Cultivos permanentes	x	x	x	1
	Cultivos temporários	x	x	x	1
Muniz Freire	Abacaxi	x	x	x	0,6
	Banana	2250	15	150	0,8
	Café	11156	1	10163	0,9
	Cana-de-Açúcar	x	x	x	0,8
	Coco-da-baía	x	x	x	0,9
	Cultivos permanentes	840	4	x	1
	Cultivos temporários	17300	16	x	1
Muqui	Abacaxi	x	x	x	0,6
	Banana	648	7	90	0,8
	Café	4421	1	3985	0,9
	Cana-de-Açúcar	x	x	x	0,8
	Coco-da-baía	168	10	5	0,9
	Cultivos permanentes	136	1	x	1,0

	Cultivos temporários	2057	11	x	1,0
Municípios	Culturas	Produção (ton/ha)	Produtividade (ton/ha)	Área	Kc
Presidente Kennedy	Abacaxi	17	33	600	0,6
	Banana	400	10	40	0,8
	Café	518	1	450	0,9
	Cana-de-Açúcar	11500	50	2300	0,8
	Coco-da-baía	5	24	55	0,9
	Cultivos permanentes	1125	45	x	1
	Cultivos temporários	38597	96	x	1
Vargem Alta	Abacaxi	x	x	x	0,6
	Banana	6300	8	750	0,8
	Café	11601	1	11170	0,9
	Cana-de-Açúcar	1200	40	30	0,8
	Coco-da-baía	x	x	x	x
	Cultivos permanentes	1522	47	95	1
	Cultivos temporários	4610	78	1490	1
Venda Nova do Imigrante	Abacaxi	x	x	x	0,6
	Banana	528	1	40	0,8
	Café	3910	1	3620	0,9
	Cana-de-Açúcar	1000	50	20	0,8
	Coco-da-baía	X	x	x	0,9
	Cultivos permanentes	3661	8	x	1
	Cultivos temporários	20100	11	x	1

Fonte: IBGE (2015), adaptado pela autora.

ANEXO

Anexo B. Informações de rebanhos por município da bacia do rio Itapemirim.

	Bovinos de corte	Bovinos de leite	Bubalinos	Caprinos	Equinos	Suínos	Aves
Alegre	65379	10838	97	490	2570	3070	25
A. Vivacqua	22583	4645	0	240	643	1852	13725
Castelo	66219	12622	80	550	1975	11881	40328
Cachoeiro	33495	6492	34	930	871	12906	105633
C. do Castelo	8983	1702	8	320	460	9873	781603
Ibatiba	3273	782	0	109	315	1715	15150
Ibitirama	9405	782	0	21	428	900	2320
Itapemirim	37911	7600	48	138	1083	1300	8520
Iúna	9205	2456	0	323	505	3045	16762
J. Monteiro	15991	3590	61	120	570	9870	7580
Marataízes	2532	330	0	14	85	140	2640
Irupi	2681	607	0	143	135	1185	9439
Muniz Freire	25269	5700	16	340	1090	3140	22200
Muqui	21117	4177	0	317	856	1978	18919
P. Kennedy	57161	11280	26	86	1551	1590	21750
V. N. do Imigrante	2014	661	0	123	141	10676	1349487

Fonte: IBGE (2015), adaptado pela autora.