



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS



TESE

**PEGADA HÍDRICA CONSUNTIVA EM MICROBACIA E PROPOSTA PARA
CONTABILIZAÇÃO DE USO DIRETO DE ÁGUA E SIMULAÇÃO DE REÚSO**

GERALDO MOURA BARACUHY NETO

**Campina Grande - PB
Março de 2014**

GERALDO MOURA BARACUHY NETO

**PEGADA HÍDRICA CONSUNTIVA EM MICROBACIA E PROPOSTA PARA
CONTABILIZAÇÃO DE USO DIRETO DE ÁGUA E SIMULAÇÃO DE REÚSO**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Doutor em Recursos Naturais.

Área de Concentração: Sociedade e Recursos Naturais

Linha de Pesquisa: Gestão dos Recursos Naturais

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Vieira de Azevedo

Campina Grande - PB

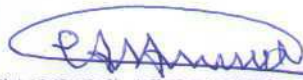
Março de 2014

GERALDO MOURA BARACUHY NETO

**PEGADA HÍDRICA CONSUNTIVA EM MICROBACIA E PROPOSTA PARA
CONTABILIZAÇÃO DE USO DIRETO DE ÁGUA E SIMULAÇÃO DE REÚSO**

APROVADA EM: 14/03/2014

BANCA EXAMINADORA


Dr. CARLOS ALBERTO VIEIRA DE AZEVEDO
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG


Dra. VERA LÚCIA ANTUNES DE LIMA
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG


Dr. VICENTE DE PAULO RODRIGUES DA SILVA
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG


Dr. LINCOLN ELOI DE ARAUJO
Universidade Federal da Paraíba – UFPB


Dra. DJANE FONSECA DA SILVA
Universidade Federal do Ceará – UFC

Agradecimentos

À minha família:

Meus pais, José Geraldo de Vasconcelos Baracuhy e Helena Maria Paiva Baracuhy, pelo amor e investimento desde sempre;

Meus irmãos, Ygor Paiva Baracuhy, Marina Paiva Baracuhy e Haysa Paiva Baracuhy;

Avós, avôs, tios, tias, mesmo os que já se foram.

Ao meu orientador, Carlos Alberto Vieira de Azevedo, que conduziu o estudo e me auxiliou a superar os inúmeros percalços com conhecimento e serenidade. À professora Vera Lúcia Antunes de Lima e ao professor Lincoln Eloi de Araújo, pelo valioso auxílio prestado.

A todos que participaram operacionalmente da coleta de dados na microbacia Riacho Fundo.

A Gesinaldo e Cleide, da Coordenação de Pós-Graduação em Recursos Naturais.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

E aos meus amigos: os Brunos, as Alines, as Silvanas, Ângelo, Ket, Lango Lango, Sagar, Gabriel, Admar, Marlon, Rodrigo, Joelma, Suzane, Kaline, Veneziano, Warlan.

MUITO OBRIGADO!

“Da Escola de Guerra da Vida – o que não me mata torna-me mais forte.” Nietzsche

BARACUHY NETO, Geraldo Moura. **Pegada hídrica consuntiva em microbacia e proposta para contabilização de uso direto de água e simulação de reúso**. 2014, 84 pg. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba.

Resumo

A crise ambiental e social advinda do modelo de organização sócio-econômico vigente que explora os recursos naturais tidos como infinitos para produção de bens e serviços e assola a natureza com poluição forçou a concepção da noção de sustentabilidade, que propõe uma relação mais harmônica da sociedade com o meio ambiente. O presente estudo é construído sobre este pilar e tem por objetivo avaliar a pegada hídrica consuntiva dos habitantes da microbacia hidrográfica Riacho Fundo, no município de Cabaceiras-PB, semiárido brasileiro, e propor ferramenta para quantificar o uso direto de água, simular cenários de reúso de água doméstica e identificar as alterações destes cenários na pegada hídrica total do lugar. Após coleta de dados na localidade, foi utilizado o *software Water Footprint Extended Calculator*, da *Water Footprint Network*, para determinação da pegada hídrica total, dos componentes e das categorias alimentares. Desenvolveu-se uma sub-rotina para o *software Water Footprint Extended Calculator*, que determinou o volume de uso direto de água da localidade, e possibilitou a simulação da reutilização de água proveniente do uso interno nas atividades externas. Os valores médios de pegada hídrica encontrados foram, por habitante: 807,07 m³/ano, 586,29 m³/ano, 174,59 m³/ano e 47,26 m³/ano, respectivamente, para a pegada hídrica total, componente alimentação, componente consumo de bens industrializados e uso direto de água. A média dos usos diretos de água interno e externo encontrados foi de 82154 litros por semana e 24548 litros por semana, respectivamente. No cenário de 30% de reúso, a pegada hídrica total diminuiu 2,78%. No cenário de 50%, a diminuição é de 3,25%. Nos cenários de 80% e 100%, há uma diminuição de 3,37%.

Palavras-chave: sustentabilidade; água virtual; reutilização; semiárido

BARACUHY NETO, Geraldo Moura. **Consumptive water footprint in watershed and proposal for direct use accounting of water and domestic reuse simulation.** 2014, 84 pg. Doctoral Thesis - Federal University of Campina Grande, Campina Grande, Paraíba.

Abstract

The environmental and social crisis arising out of the prevailing socio-economic organization that explores the natural resources taken as infinite for the production of goods and services and ravaging nature pollution model forced with the design of the concept of sustainability, which proposes a more harmonious relationship with the environment. The present study is build on this pillar and aims to assess the consumptive water footprint of the inhabitants of the watershed Riacho Fundo in Cabaceiras -PB city, Brazilian semiarid region, and propose a tool for quantifying the direct use of water, simulating scenarios for reusing household water and identify changes in total water footprint in these scenarios. After collecting data on the location, the software Water Footprint Calculator Extended, from Water Footprint Network, was used to determine the total water footprint, the components and food categories. Was developed a subroutine for Water Footprint Calculator Extended software, which determined the volume of direct use of water in the place, and allowed the simulation of reusing water from domestic use in outdoor activities. The average values was 807.07 m³ / year, 586.29 m³ / year, 174.59 m³ / year and 47.26 m³ / year, for the total water footprint, food component, consumption of manufactured goods and water direct use, respectively. The average direct uses external and internal water was 82,154 liters per week and 24,548 liters per week, respectively. In 30% reuse scenario, the total water footprint drops 2.78%. At 50% scenario, the reduction is 3.25%. In 80% and 100% scenarios, there is a decrease of 3.37%.

Keywords : sustainability; virtual water; reuse; semiarid

SUMÁRIO

1. Introdução	13
2. Objetivos	15
3. Revisão bibliográfica	16
3.1 Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável	16
3.2 Recurso natural água	20
3.3 O semiárido e a escassez hídrica	22
3.4 A pegada hídrica	25
3.4.1 Pegada hídrica e água virtual	26
3.4.2 Pegada hídrica, pegada ecológica, pegada de carbono e energia	27
3.4.3 Tipos de pegada hídrica	30
3.4.3.1 Pegada hídrica verde	30
3.4.3.2 Pegada hídrica azul	31
3.4.3.3 Pegada hídrica cinza	32
3.4.4 Pegada hídrica de produtos de origem agropecuária	33
3.4.5 Pegada hídrica de um consumidor	34
3.5 Reúso de água	35
4. Material e métodos	38
4.1 A área de estudo	38
4.2 Procedimentos metodológicos	40
4.2.1 Pesquisa bibliográfica	40
4.2.2 Pesquisa de campo	40
4.2.3 Cálculo da pegada hídrica	43
4.2.4 Relação com renda, zona de moradia, grau de instrução e idade ..	45
4.2.5 Desenvolvimento da sub-rotina	45
4.2.6 Cálculo dos volumes de água utilizados diretamente	46
4.2.7 Simulação de cenários de reúso de água	46
5. Resultados e discussão	48
5.1 Pegada hídrica total e componentes	48
5.2 Pegada hídrica das categorias alimentares	51
5.3 Pegada hídrica e relação com renda, idade, escolaridade e zona de moradia ..	54
5.4 A sub-rotina para cálculo do volume de água utilizado e cenários de reúso ..	56
5.5 Uso direto da água na microbacia Riacho Fundo	62

5.6 Simulações de reuso	69
6. Conclusão	76
7. Referências bibliográficas	78

LISTA DE FIGURAS

1. Mapa do semiárido brasileiro	24
2. Mapa de localização da microbacia hidrográfica Riacho Fundo/PB	38
3. Ciclo I-P-O	43
4. Fluxograma do <i>Water Footprint Extended Calculator</i>	44
5. Interface de saída do <i>Water Footprint Extended Calculator</i>	45
6. Fluxograma do <i>Water Footprint Extended Calculator</i> integrado ao reúso	47
7. Representatividade de cada componente da pegada hídrica total	50
8. Componentes da pegada hídrica de um animal	52
9. Representatividade das categorias alimentares na pegada hídrica de alimentação	53
10. Cruzamento entre pegada hídrica total e faixas de renda	54
11. Cruzamento entre pegada hídrica e faixas de idade	55
12. Cruzamento entre pegada hídrica e escolaridade	56
13. Interface da subrotina	57
14. Saída da sub-rotina	60
15. Correção dos dados de uso externo para 50% de reúso	61
16. Correção dos dados de uso externo para 80% de reúso	61
17. Correção dos dados de uso externo para 100% de reúso	62
18. Representatividade das atividades de uso interno	65
19. Representatividade dos usos interno e externo	66
20. Fotografia de lavagem de calçada de uma residência	67
21. Fotografias de irrigação de plantas	68
22. Representatividade das atividades de uso externo de água	68
23. Diminuição da pegada hídrica dos cenários de reúso	74
24. Sobra de água dos cenários de reúso	75

LISTA DE TABELAS E QUADROS

TABELAS	
1. Pegada hídrica de produtos de origem agropecuária	33
2. Questões do <i>Water Footprint Extended Calculator</i>	42
3. Valores médios de pegada hídrica total, componentes e participação das categorias alimentares, em m ³ / ano	50
4. Consumo de carne e pegada hídrica da carne em alguns países do mundo	52
5. Fórmulas para desenvolvimento da sub-rotina	58
6. Dados coletados em uma residência	59
7. Média de uso de água interno e externo da amostra pesquisada	64
8. Famílias que economizam água no banho e na lavagem de louça	65
9. Entrevistados e os usos externos de água	66
10. Descrição das informações apresentadas no Quadro 3	69
11. Médias das simulações na microbacia	72

QUADROS	
1. Pegada hídrica total, componentes e participação das categorias alimentares das 100 famílias da microbacia Riacho Fundo, em m ³ / ano.	49
2. Volume dos usos diretos de água nas 100 famílias da microbacia Riacho Fundo, em m ³ / ano	63
3. Resultados das simulações de reúso nas 100 famílias da microbacia Riacho Fundo, em m ³ / ano	70

LISTA DE SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas

BNB – Banco do Nordeste

CNDSAB - Cartilha Novas Delimitações do Semiárido Brasileiro

CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

EPA – Environmental Protection Agency

ET - Evapotranspiração

FAO - Food and Agriculture Organization

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDH – Índice de Desenvolvimento Humano

INSA – Instituto Nacional do Semiárido

IPCC - Internacional Panel on Climate Change

IUCN – International Union for Conservation of Nature

MMA – Ministério do Meio Ambiente

PET - Politereftalato de etileno

PH – Pegada Hídrica

PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

TNC - The Nature Conservancy

UFES – Universidade Federal de Santa Maria

USGS - United States Geological Survey's

WMO - World Meteorological Organization

WWAP - World Water Assessment Programme

1. INTRODUÇÃO

O modelo de organização sócio-econômica vigente tem conferido à espécie humana um comportamento substancialmente destrutivo ao planeta. Intensos debates e críticas relacionadas a este modelo começaram a surgir na década de 70, na qual brotou a noção de desenvolvimento sustentável e, por conseguinte, as atividades humanas foram classificadas em sustentáveis ou não, por critérios que não se reduzem apenas à degradação ambiental, mas incorporam também dimensões sociais. O tema desenvolvimento sustentável, desta forma, tem recebido crescente atenção uma vez que os atuais padrões de consumo e produção são claramente insustentáveis dos pontos de vista social, econômico e ambiental.

Neste contexto, a água doce é um recurso natural renovável que sofre forte pressão antrópica, seja por consumo ou poluição dos corpos hídricos. A atividade agrícola é a que mais contribui para o grande volume de água consumida e poluída, mas os setores industrial e doméstico também têm grande participação (WWAP, 2009). A pressão sobre os recursos hídricos do mundo está se tornando mais aguda e o fornecimento de alimentos suficientes, água e energia para o mundo cada vez mais vem se tornando um desafio da ciência.

Diante do exposto, a crise sócio-ambiental demanda uma reorganização ideológica do desenvolvimento e a necessidade de um novo protótipo, a exemplo da sustentabilidade ecológica. Segundo Leff (2001), a sustentabilidade ecológica aparece como um critério normativo para a reconstrução da ordem econômica, como uma condição para a sobrevivência humana e um suporte para chegar a um desenvolvimento duradouro, questionando as próprias bases da produção.

É imperioso que o presente paradigma desenvolvimentista regulado unicamente por vantagens econômicas seja modificado. Para tanto, a ciência produzida de forma sistêmica é uma aliada da sociedade, ao minar as bases deste paradigma e guiá-la à sustentabilidade. O todo, conforme Capra (1996), é fundamental e todas as propriedades fluem de suas relações. Esta visão leva à compreensão do mundo físico como uma rede de relações e não mais como uma entidade fragmentada.

Assim, a ciência vem buscando meios que levem a um consumo sustentável deste recurso, e o conceito de pegada hídrica é forte aliado nesta busca. Este conceito pode ser enquadrado nos pensamentos de Leff (2001) e Capra (1996) pois, além de ser um indicador que mostra uma realidade de consumo de água diferente da sugerida por análises

convencionais em termos monetários, abarca o uso de água como um todo e não sob a perspectiva reducionista e simplista do uso direto. A pegada hídrica inclui os conceitos de água azul, verde e cinza (Hoekstra, 2011), enriquecendo a conotação dos tradicionais sistemas de recursos hídricos e conectando a água real com a água virtual, possibilitando melhor reflexão das demandas e usos de água doce.

Um grande mérito da pegada hídrica é visualizar o uso oculto da água em produtos e contribuir para o entendimento da configuração global dos recursos hídricos, bem como a quantificação dos efeitos do consumo e do comércio destes produtos no uso da água, fornecendo amparo científico para melhor gerenciamento dos recursos hídricos do planeta.

Assim como a pegada hídrica, o reúso de água merece destaque quando se pensa a sustentabilidade de água, pois esta tecnologia contribui para a diminuição da pressão antrópica sobre este recurso natural. Para Tundisi (2008), a avaliação da água virtual e a introdução do reúso de água na agricultura são duas das soluções urgentes para sustentabilidade de recursos hídricos. Há regiões do mundo em que o reúso é uma prática largamente exercida e, em algumas delas, é essencial para as atividades humanas.

O presente estudo tem o propósito de agregar os dois conceitos, propondo uma sub-rotina para *software Water Footprint Extended Calculator*. Mantida pela *Water Footprint Network*, este *software* é uma ferramenta adequada para a obtenção da pegada hídrica de uso consuntivo de uma pessoa ou grupo de pessoas. O *software* funciona por meio de complexos cálculos adaptados às realidades do país e das atividades de consumo. A sub-rotina proposta tem por objetivo quantificar o uso direto de água e ajudar na simulação de cenários de reúso de água proveniente do uso interno nas atividades externas.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar a pegada hídrica consuntiva da população da microbacia hidrográfica Riacho Fundo, no município de Cabaceiras-PB, e propor ferramenta para ampliação das funções do *software Water Footprint Extended Calculator*, possibilitando a contabilização do uso direto de água e simulação do reúso doméstico.

2.2 Específicos

- Obter a pegada hídrica total dos habitantes da microbacia, a participação dos três componentes (alimentação, uso doméstico e bens de consumo) e a contribuição das categorias alimentícias individuais na pegada hídrica total.
- Relacionar a pegada hídrica obtida com os seguintes aspectos: zona de moradia, renda, grau de instrução e idade.
- Criar uma sub-rotina para o software *Water Footprint Extended Calculator* para a obtenção do volume dos usos diretos de água e simulação de cenários de reúso de água.
- Obter o volume do uso direto de água total e das atividades internas e externas nas famílias pesquisadas.
- Simular quatro cenários, nos quais 30%, 50%, 80% e 100% da água de uso doméstico interno é reutilizada no ambiente externo, obter as pegadas hídricas totais e a participação do uso doméstico nestas pegadas hídricas totais destes cenários e confrontá-las com as dos habitantes da microbacia.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável

Este estudo foi concebido sob a premissa da sustentabilidade, uma vez que trata do modelo de pegada hídrica e do reúso de água doméstica, duas formas de refletir a intensidade da pressão antrópica sobre o recurso natural água e abrandar esta pressão. Se faz, portanto, necessário discorrer sobre a construção do atual cenário sócio-econômico e ambiental.

A Idade Contemporânea, período iniciado na Revolução Francesa e que vige atualmente, é fortemente influenciada pelo antropocentrismo da Idade Moderna, que rompeu com o teocentrismo da Idade Média. Um dos pilares da Idade Moderna foi a ética antropocentrista de Kant, que apregoava a exploração ilimitada dos recursos do planeta (Dantas, 2012). Este fato, aliado ao modelo de desenvolvimento econômico praticado pelas nações e a crescente demanda por recursos naturais, tem exercido enorme pressão nos sistemas naturais de suporte à vida. Entre o final da Idade Moderna e o início da Idade Contemporânea, no século XVII, surgiu a Revolução Industrial, que alavancou o processo produtivo e gerou um profundo impacto social e econômico. Conforme Camargo (2003), desde o início da Revolução Industrial, a implantação de técnicas de produção e consumo predatórias vem provocando um grande impacto das atividades humanas sobre os sistemas naturais. Assim como este modelo econômico de desenvolvimento modificou e aperfeiçoou em muitos aspectos a relação do ser humano com o seu meio ambiente, também provocou transformações dramáticas no ambiente natural. Por conseguinte, o modo de pensar e agir do ser humano a partir da Idade Moderna tem elevado os interesses individuais em detrimento de interesses coletivos e ambientais.

Para Elliot (2011), há evidências científicas de que as atividades humanas são responsáveis por degradar o meio ambiente natural e que esta taxa de degradação tende a aumentar no futuro. Diante desta constatação, a ética antropocentrista de Kant tem dado lugar à ética ecocêntrica, fundamentada em uma relação harmônica entre sociedade e natureza. Desta forma, a sustentabilidade das atividades humanas tem sido cada vez mais estudada e buscada. Estas reflexões induzem a críticas ao neoliberalismo econômico, que segundo Leff (2001), é incapaz de dar seu justo valor aos recursos ecológicos e aos serviços ambientais da natureza

Entretanto, a consciência destes problemas surgiu de forma tardia nos países mais ricos. Conforme Lago e Pádua (1984), apesar dos graves problemas ambientais dos séculos XIX e XX relacionados à poluição industrial, um dos motivos pelos quais a preocupação ambiental não despertou o interesse das grandes nações de forma mais explícita foi o fato de a degradação ambiental afetar principalmente os trabalhadores nestes países e populações em países subdesenvolvidos, sendo somente em meados do século XX, com o agravamento das crises ambientais, que estes problemas alcançaram também as classes mais favorecidas.

A ideologia dominante da busca incessante por crescimento econômico se mostra incapaz de lidar com a natureza, uma vez que os sistemas de geração de riquezas são abertos – com entrada de energia e saída de detritos – e não cíclicos, como é interpretado pela economia, sugerindo um novo modelo, que é o da sustentabilidade. Genericamente, a sustentabilidade se refere à capacidade de um fenômeno ser mantido e continuado no futuro. Portanto, questões de sustentabilidade são refletidas sempre que houver uma ameaça para recursos valiosos (Kori e Gondo, 2012). Para Morelli (2011), existe um debate entre aqueles que defendem a sustentabilidade como uma relação restrita entre a sociedade humana e a natureza e aqueles que defendem uma abordagem “tripé”, ou seja, beneficiando simultaneamente economia, sociedade e ambiente. O resultado é que o conceito é agora mais aberto para interpretações políticas e filosóficas individuais do que a definição científica. Entretanto, sob o prisma interdisciplinar da questão dos recursos naturais, é adequado pensar a sustentabilidade como um tema transversal, incluindo as vertentes ambiental, econômica e social.

De acordo com Goodland (1995), a sustentabilidade social preocupa-se com a redução da pobreza. A econômica se concentra no fornecimento de insumos físicos, tanto renováveis como não-renováveis, em um sistema de produção. A sustentabilidade ambiental, por sua vez, refere-se à preservação e manutenção de formas vivas. Desta forma, não há uma definição universalmente aceita para o termo, assim como não há uma abordagem plenamente aceita para alcançar a sustentabilidade e muito menos a sustentabilidade ambiental, mas é certo que esta requer a manutenção do capital natural tanto como um provedor de insumos econômicos (fontes) como de um absorvente da produção econômica (resíduos), segundo Yu e Wen (2010). Assim, a sustentabilidade ambiental envolve a incorporação de práticas envolvendo economia, sociedade e meio ambiente e tem sido proposta como antídoto para os impactos ambientais negativos resultantes do crescimento econômico.

Neste contexto, a sustentabilidade econômica deve ser guiada pela sustentabilidade ambiental e não o contrário. Leff (2001) corrobora ao afirmar que a sustentabilidade ecológica aparece como um critério normativo para a reconstrução da ordem econômica, como uma condição para a sobrevivência humana e um suporte para chegar a um desenvolvimento duradouro, questionando as próprias bases da produção. A economia, desta forma, deve se pautar por aspectos humanos e ecológicos, se transformando em uma ecossocioeconomia.

O sistema econômico baseado em produção e consumo e a racionalidade moderna são, desta forma, criticados pela ecologia, de acordo com Junges (2001):

Os problemas ecológicos não dependem de uma simples solução técnica, reclamam uma resposta ética. Requerem uma mudança de paradigma na vida pessoal, na convivência social, na produção de bens de consumo e, principalmente, no relacionamento com a natureza. Exigem uma mudança de rota na organização econômico-industrial e político-social da sociedade; de uma conversão das atitudes de consumo e de relacionamento com o ambiente natural e social. Trata-se, no fundo, de uma mudança de mentalidade e visão do mundo. A preocupação ecológica não traz apenas novos problemas que exigem solução. Introduz um novo paradigma civilizacional.

O termo sustentabilidade, assim, começou a ser utilizado com maior frequência e sua coesão com as dimensões social, econômica e ambiental foram debatidos, bem como sua importância na busca de uma nova forma de desenvolvimento. Este conceito foi profundamente discutido no Relatório Brundtland de 1987 que, entre outras coisas, concluiu que é necessário fazer uma grande mudança na forma de desenvolvimento humano, uma vez que todos os sistemas ecológicos do planeta estão sofrendo danos graves e irreversíveis (Siche *et al.*, 2008).

À medida em que a ideologia desenvolvimentista do pós-guerra utilizava o Produto Interno Bruto de cada país como medidor do desempenho socioeconômico, suas mazelas foram severamente criticadas, especialmente por só considerar atividades mercantis e ignorar a depreciação de recursos naturais e humanos (Veiga, 2010). Assim, na década de 1970, brotou a noção de desenvolvimento sustentável, fruto de intensos debates e de críticas relacionadas ao modelo de crescimento econômico predominante. No ano de 1980, o termo sustentabilidade foi introduzido como um assunto internacional pelo livro "A Estratégia Mundial para a Conservação" (IUCN, 1980). O desenvolvimento sustentável revelou-se uma

nova maneira de perceber as soluções para os problemas globais, que não se reduzem apenas à degradação ambiental, mas incorporam também dimensões sociais, políticas e culturais. Destaca-se aqui uma definição do termo desenvolvimento sustentável segundo Camargo (2003):

Desenvolvimento sustentável é um novo tipo de desenvolvimento capaz de manter o progresso humano não apenas em alguns lugares e por alguns anos, mas em todo o planeta e até um futuro longínquo, capaz ainda de atender as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras atenderem a suas próprias necessidades.

O desenvolvimento sustentável nunca foi e tampouco será unanimemente considerado solução para o problema. Há críticas que questionam se o progresso econômico é realmente um progresso humano. Stahel (1998) afirma que nos últimos vinte anos o desenvolvimento sustentável vem se transformando no centro de todo o discurso ecológico, sem que haja um consenso do seu real significado. Veiga (2005), por sua vez, indaga se há mesmo um significado concreto para o termo, afirmando ser o desenvolvimento sustentável uma expressão convenientemente sem sentido. No Brasil, Cavalcanti (2004) defende que há uma armadilha no discurso de desenvolvimento sustentável, ao afirmar que a fé na ideia de crescimento econômico ilimitado exerce fascínio insuperável e parece enraizada na mente coletiva nacional, especialmente entre as elites econômicas. Nessa paisagem, as políticas públicas brasileiras tendem a contemplar a promoção do crescimento econômico sob o disfarce de desenvolvimento antes de qualquer outra coisa, apesar dos compromissos do discurso oficial com a sustentabilidade ecológica.

A despeito de tais divergências, um importante marco na busca por um novo padrão de desenvolvimento que integre proteção ambiental, justiça social e eficiência econômica foi a criação da Agenda 21, como resultado da Conferência Eco-92, ocorrida no Rio de Janeiro. Em seu Capítulo 18 – “Proteção da Qualidade e do Abastecimento dos Recursos Hídricos: Aplicação de Critérios Integrados no Desenvolvimento, Manejo e Uso dos Recursos Hídricos”, a Agenda 21 trata de um elemento essencial para que haja vida no planeta Terra: a água. O objetivo geral é assegurar a oferta de água de boa qualidade para todos os habitantes, mantendo as funções hídricas, biológicas e químicas dos ecossistemas, adaptando as atividades do ser humano aos limites da natureza e lutando

para combater as enfermidades ligadas a água (MMA, 2013).

De fato, qualquer estratégia de sustentabilidade consistente deve levar em consideração a sustentabilidade dos recursos hídricos, pois a água é um dos recursos naturais que mais sofrem com a pressão antrópica. Assim, os reservatórios de água doce requerem atenção especial de toda a sociedade, tendo em vista a retirada excessiva deste recurso e a poluição resultante das atividades humanas, o que representa uma das principais ameaças à vida em nosso planeta.

3.2 Recurso natural água

O termo água refere-se ao elemento natural, desvinculado de qualquer uso ou utilização. Por sua vez, o termo recurso hídrico é a consideração da água como bem econômico, passível de utilização para tal fim. Entretanto, deve-se ressaltar que toda água da Terra não é, necessariamente, um recurso hídrico, na medida em que seu uso ou utilização nem sempre tem viabilidade econômica (Rebouças, 2002).

Neste contexto, os problemas de escassez de água doce e de poluição se relacionam com a utilização de água pelos agricultores, indústrias e residências, ou seja, são referentes à água enquanto recurso hídrico. Para Aldaya e Hoekstra (2010), o termo "uso da água" sempre foi interpretado como "aplicação da água para algum propósito". Como resultado, os governos responsáveis pela gestão dos recursos hídricos tradicionalmente direcionam suas políticas em relação aos usos de água. Tal qual o direcionamento político, a produção de ciência que busca a sustentabilidade deste recurso é orientada também pelo uso de água.

A água é, de longe, a substância mais abundante da superfície do planeta Terra: existem $1444 \times 10^6 \text{ km}^3$ desta substância em três fases: líquida, sólida e gasosa (Berner e Berner, 1996), porém, de toda a água existente no planeta, apenas uma pequena fração está disponível para uso humano. De acordo com Miller Jr (2008), a água doce corresponde a apenas 2,6% da água existente no planeta e o restante (97,4%) é referente aos oceanos e lagos salinos. Dos 2,6% de água doce, as calotas polares e geleiras correspondem a 1,984%, ao passo que as águas subterrâneas correspondem a 0,592%. O restante (0,014%) é a água doce acessível, subdividida em lagos (0,007%), umidade do solo (0,005%), vapor de água atmosférico (0,001%), biota (0,0001%) e rios (0,0001%). Para melhor compreensão, Miller Jr (2008) estabelece a seguinte comparação proporcional: se a reserva de água do mundo tivesse

apenas cem litros, a reserva utilizável seria de apenas 0,014 litros ou 2,5 colheres de chá.

O ciclo da água, também comumente conhecido como ciclo hidrológico, descreve a existência e o movimento contínuo da água sobre, dentro e acima da Terra. A água da Terra está sempre em movimento e sempre mudando de estado, de líquido para vapor, depois para gelo e novamente de volta para seu estado inicial. O ciclo da água tem funcionado por bilhões de anos e toda a vida na terra depende dele (USGS, 2013). Assim, o ciclo da água descreve como a água, a partir da superfície da terra, sobe para a atmosfera, esfria e arrefece em chuva ou neve nas nuvens e cai de novo para a superfície em forma de precipitação. A água que cai na terra é coletada em rios e lagos, solos e camadas porosas de rocha, e grande parte reflui para os oceanos, onde mais uma vez evaporam. O ciclo da água na atmosfera é um aspecto importante dos padrões climáticos na Terra. Desta forma, a água é um recurso natural circulante que é constantemente recarregado.

Portanto, conforme Oki e Kanae (2006), mesmo que os estoques de água nos reservatórios naturais e artificiais sejam úteis para aumentar os recursos hídricos disponíveis para a sociedade humana, o fluxo de água deve ser o foco principal na avaliação dos recursos hídricos.

A água tem sofrido forte pressão antrópica, principalmente proveniente da agricultura, que é o setor que mais consome água, utilizando, aproximadamente, 70% das reservas globais de águas aproveitáveis (Pinheiro e Carvalho, 2009; Molden, 2007). Particularmente nas zonas áridas e semiáridas, a maioria dos escassos recursos de água doce terrestres são alocados para uso agrícola. Segundo Molden (2007), a agricultura irrigada é praticada em 20% de todas as terras cultivadas e gera cerca de 40% da produção agrícola mundial. No Brasil, o consumo de água da agricultura representa 61% do consumo total do país (FAO, 2010). Conforme Ozerol *et al.* (2012), o impacto negativo da agricultura irrigada na sustentabilidade hídrica pode ser considerada como um problema, uma vez que é transversal em vários setores políticos e níveis.

Deste modo, o crescimento populacional é um aspecto que afeta e afetará o cenário mundial dos recursos hídricos, já que demandará uma maior produção de alimentos. Estima-se que a população aumentou três vezes no decorrer do século XX, passando de 2 para 6 bilhões de habitantes. Nesse mesmo período, a demanda de água aumentou sete vezes, isto é, passou de 580 km³/ano para aproximadamente 4.000 km³/ano (WMO, 1997). Além do crescimento populacional, de acordo com IPCG (2012), os principais impactos da

mudança climática incluirão padrões de precipitação mais erráticos e aumento da variabilidade dos fluxos de rios e recarga do aquífero. Ercin e Hoekstra (2014) ainda listam o crescimento econômico, as mudanças na produção, e padrões de comércio como fatores que aumentarão a concorrência sobre a água por causa do aumento demandas para fins domésticos, industriais e agrícolas.

As desigualdades de desenvolvimento econômico regional, com diferentes graus de ocupação e intensificação de atividades produtivas, também resultam em situações de estresse hídrico e ambiental, conforme Pizella e Souza (2007). Outras ações antrópicas nos ambientes rurais e urbanos também afetam a integridade dos sistemas hídricos, de acordo com os mesmos autores: canalização, desvio do curso natural e impermeabilização do leito dos rios no meio urbano, despejo de poluentes, práticas inadequadas de aquicultura, e uso inadequado do solo nos meio rural e urbano.

O Brasil é um país rico em termos hídricos, uma vez que, conforme Aquim *et al.* (2009), tem aproximadamente 12% da água doce que corre na superfície do mundo. No entanto, esse volume é desigualmente distribuído: 70% estão disponíveis na Amazônia, uma região que tem menos de 7% da população do país, 15% na região Centro-Leste, 6% no Sul e Sudeste e apenas 3% no Nordeste do Brasil.

De acordo com Pinheiro e Carvalho (2009), o Brasil desperdiça em torno de 40% do total utilizado. Por outro lado, cerca de 45 milhões de brasileiros não têm acesso aos serviços de água tratada e 96 milhões não dispõem de serviços de esgoto sanitário. Da água consumida no país 51% vêm dos rios, porém, de forma contraditória, 92% dos esgotos sanitários e industriais são lançados, sem nenhum tratamento, nestes mesmos rios.

Diante da oferta limitada de um elemento imprescindível para suporte à vida e como recurso para atividades econômicas, se faz necessária a máxima racionalização da sua utilização. Assim, além da quantificação do uso direto de água doce para elaboração de um produto ou para suprir a necessidade de um consumidor, deve-se quantificar o uso indireto necessário ao longo de toda a cadeia produtiva ou todos os processos até que um produto ou serviço possa ser utilizado.

3.3 O Semiárido e a escassez hídrica

Como já evidenciado, o Brasil é um dos países com maior disponibilidade hídrica no

mundo, mas devido às suas dimensões geográficas e condições climáticas diferenciadas, algumas regiões sofrem problemas graves de escassez de água, como o nordeste e, mais especificamente, o semiárido. Esta região, que contém a delimitação física do presente estudo, é uma área cuja característica marcante é a irregularidade pluviométrica. O regime de chuvas é caracterizado por períodos longos de estiagem com secas devastadoras que provocam a “hibernação” das plantas e a morte dos animais (Padilha *et al.*, 2004).

Conforme Souza *et al.* (2011), no nordeste brasileiro, região predominantemente semiárida, verifica-se ao longo do ano um período curto de 3 a 4 meses com precipitações pluviométricas, e um período longo, geralmente chamado de estiagem, sem a ocorrência de eventos significativos de precipitação, observando-se que a demanda de evaporação é elevada nessa região durante todo o ano. As secas severas no semiárido brasileiro, objeto de inúmeros estudos por seus impactos sociais e econômicos, têm sido relacionadas à ocorrência do El Niño. Entretanto, a relação entre El Niño e estas secas não é unívoca (Kane e Trivedi, 1988). Segundo Kane (1997) dos 46 El Niños (fortes e moderados) do período de 1849-1992, somente 21 (45%) estiveram associados a secas severas

Segundo o INSA (2012), a média pluviométrica na região é de 400 a 800 mm anuais mas, devido às características climáticas da região, o semiárido possui um dos maiores índices de evaporação do Brasil. É o semiárido mais chuvoso do planeta e também o mais populoso e em nenhum outro as condições de vida são tão precárias. O subsolo é formado por 70% rochas cristalinas, rasas o que dificulta a formação de mananciais perenes e a potabilidade da água de chuva, normalmente salinizada. Desse modo, a captação de água de chuva é uma das formas mais simples, viáveis e baratas para se viver bem na região (Malvazzi, 2007).

No semiárido, os solos são rasos, com ocorrência de vegetação do tipo xerófila, resistente a longos períodos de estiagem. Conforme a CNDSAB (2008), o semiárido brasileiro se estende por uma área que abrange a maior parte de quase todos os Estados da Região Nordeste (86,48%), além do Sudeste (13,52%), ocupando uma área total de 974.752 km². Também chamado não tecnicamente de "Sertão", abrange os seguintes Estados do Brasil: Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, além do Vale do Jequitinhonha, no Norte de Minas Gerais, e parte da região Norte do Espírito Santo, conforme a Figura 1.

De acordo com Padilha *et al.* (2004), a região semiárida do Nordeste brasileiro contém uma população total de aproximadamente 24 milhões de pessoas, das quais 14

milhões vivem na área urbana e cerca de 10 milhões na área rural. Desses 24 milhões de habitantes, 9 milhões, a maioria deles na região rural, podem ser considerados como miseráveis, levando em conta o valor da renda monetária mensal.



Figura 1. Mapa do Semiárido brasileiro

Fonte: BNB (2012)

A falta de água faz com que a população rural e das pequenas cidades fiquem submetidas a condições de extrema dificuldade. De acordo com Souza *et al.* (2011), a crise de água não é consequência apenas de fatores climáticos e geográficos, mas principalmente do uso irracional dos recursos hídricos. Para Santos *et al.* (2009), as secas recorrentes têm como aliada a inoperância das políticas governamentais, provocando três consequências principais: colapso parcial do sistema produtivo rural, notadamente as atividades de agricultura e pecuária, dificuldades no abastecimento de água e de gêneros alimentícios para a população e o aumento do desemprego, que culminam com o empobrecimento e a migração forçada da população para as cidades.

Padilha *et al.* (2004) endossa o papel antrópico neste problema quando afirma que:

A capacidade de suporte da região é pequena e o desmatamento atualmente em acelerada progressão e já em enormes proporções a reduz ainda mais. A história da região se caracteriza por grandes êxodos quando as secas são mais prolongadas. As chuvas quando caem geram enxurradas destrutivas que saem das bacias hidrográficas muito rapidamente e não conseguem recarregar os aquíferos. Para enfrentar essa situação a política

pública atual coloca em prática a construção de açudes; os quais, no entanto, não resolvem a situação e, em certos lugares, até agravam os problemas, devido ao fenômeno de salinização das águas represadas.

Entretanto, a idéia de que a condição semiárida está diretamente relacionada com a baixa produtividade agrícola é totalmente falsa. Segundo Rebouças (1997), a região semiárida do Brasil não é pior, em termos de potencialidades agrícolas, do que muitas outras áreas semi-áridas do mundo, notadamente o Oeste dos Estados Unidos. A existência de ilhas de sucesso e prosperidade no contexto semiárido do Nordeste brasileiro indica ser extremamente viável a ocorrência de significativas e positivas mudanças no seu cenário agrícola.

3.4 A pegada hídrica

A concepção da pegada hídrica surgiu da ideia de considerar o uso de água ao longo da cadeia produtiva e se deu por meio dos cientistas holandeses Arjen Y. Hoekstra e Ashok K. Chapagain no ano de 2002, em Delft, na Holanda. Hoekstra *et al.* (2011) definem pegada hídrica como um indicador de água doce utilizada não só no uso direto do consumidor ou produtor, mas também no uso indireto. Ou seja, o volume de água doce utilizada para produzir o produto, somada ao longo das várias fases da cadeia de produção, é a base para a compreensão do conceito de pegada hídrica. Resente Neto (2011) exemplifica esta definição afirmando que, influenciado pelas condições climáticas e geológicas da região produtora dos grãos de soja e somado ao volume de água consumido durante o processo de fabricação de biodiesel, mais de 7 mil litros de água se fazem necessários para obter cada litro desse combustível.

A pegada hídrica é normalmente expressa em termos volumétricos (litros ou m³ de água) e é um indicador multidimensional que visualiza tanto o uso direto como o indireto de um consumidor ou produtor, e mostra volumes de consumo de água por fonte e volumes poluídos por tipo de poluição. Todos os componentes da pegada hídrica podem ser especificadas geograficamente e temporalmente (Chapagain e Tickner, 2012), o que significa que, por meio do seu estudo, é possível saber onde e quando os volumes do recurso natural água doce foram usados.

O conceito de pegada hídrica é especialmente útil na busca pela sustentabilidade do uso de água, na medida em que se constata que as consequências do uso insustentável são

evidentes em diversas regiões do planeta, como as citadas por Giacomini e Ohnuma Jr (2012): rios que secam, deixando cidades inteiras sem água, lagos que desaparecem, aquíferos poluídos, famílias que precisam caminhar quilômetros para matar a sede, espécies ameaçadas pela contaminação ou pela destruição de seus habitats. O indicador da pegada hídrica, assim, contribui para a redução da demanda de água em escala global e orienta o consumo deste recurso para a época e local propícios para o uso sustentável. Desta forma, a pegada hídrica pode ser considerada como um indicador compreensivo da apropriação do recurso água doce, confrontando a tradicional e restrita mensuração de retirada de água (Hoekstra *et al.*, 2011).

3.4.1 Pegada hídrica e água virtual

O aumento do consumo, o extenso grau de urbanização e o aumento populacional resultam em uma diversidade de impactos que exigem diferentes tipos de avaliação, novas tecnologias de monitoramento, avanços tecnológicos no tratamento e gestão das águas, além de uma maior conscientização ambiental (Giacomini e Ohnuma Jr, 2012). A água virtual e a pegada hídrica estão inseridos neste contexto, mas por serem conceitos semelhantes, se faz necessário defini-los e diferenciá-los.

A semente inicial para a pegada hídrica foi plantada pelo professor britânico John Anthony Allan, que em 1998 cunhou o termo "água virtual" para descrever a água usada na produção de mercadorias importadas e a hipótese de que tais importações de água virtual foram uma solução parcial para os problemas de escassez de água no Oriente Médio (Chapagain e Tickner, 2012). Assim, a água virtual refere-se a toda água envolvida no processo de produção de um bem agrícola ou industrial. Normalmente, o conteúdo de água real presente fisicamente nos produtos é negligenciável em comparação com o conteúdo de água virtual.

Para Resende Neto (2011), o cálculo do conteúdo de água virtual presente em um determinado produto agrícola se dá pelo somatório da evapotranspiração diária de uma determinada cultura (em mm/dia) durante todo o seu período de crescimento. Soma-se a este valor, quando ocorrer, o consumo de água realizado durante o processamento ou refino industrial.

A partir do conceito de água virtual, Hoekstra e Chapagain (2008) criaram o modelo

da pegada hídrica, que considera o uso de água virtual contida nos produtos, ajudando, assim, a compreender o caráter global de água doce e a quantificação dos efeitos do consumo e do comércio sobre os recursos hídricos. Desse modo, de acordo com Silva *et al.* (2013), além da quantificação do uso direto de água doce para elaboração de um produto ou apenas para suprir a necessidade de um consumidor, deve-se quantificar o uso indireto necessário ao longo de toda a cadeia produtiva ou todos os processos até que um produto ou serviço possa ser utilizado.

A diferença entre pegada hídrica e água virtual reside no fato de a primeira ser um indicador multidimensional e não se refere somente ao volume de água utilizado, como é o caso do conteúdo de água virtual de um produto. A pegada hídrica também torna explícito onde ela se localiza, qual é a fonte da água utilizada e quando esta é utilizada. Estas informações adicionais são fundamentais para avaliar os impactos locais da pegada hídrica de um produto (TNC, 2013). Assim, a pegada hídrica é um indicador mais robusto que, entre outros aspectos multidimensionais, inclui a água virtual. Interagindo estes dois indicadores, Vanham (2013) propõe que o balanço de água virtual se dá pela subtração da pegada hídrica de consumo de produtos agrícolas pela pegada hídrica de produção de produtos agrícolas: balanço de água virtual = $PH_{\text{cons, agr}} - PH_{\text{prod, agr}}$.

O comércio internacional de alimentos e mercadorias implica num fluxo de água virtual entre os países. O resultado da escassez hídrica em algumas partes do planeta é um comércio mundial de água, na forma de bens e produtos, pois os países e regiões que dispõem de água produzem bens para atender aqueles onde ela é escassa. Desta forma, a água virtual tem sido uma solução parcial para os problemas da escassez de água, haja vista que regiões com baixa disponibilidade hídrica importam água contida nos produtos agrícolas consumidos pela população (Silva *et al.*, 2013). Entretanto, Giacomini e Ohnuma Jr (2012) alertam que esse sistema passa a representar um problema quando as regiões produtoras, por falta de mecanismos adequados de gestão de seus recursos hídricos, passam a explorá-los em um ritmo superior à capacidade de regeneração do ambiente local.

3.4.2 Pegada hídrica, pegada ecológica, pegada de carbono e emergia

Os indicadores de "pegada" envolvem a apropriação de recursos ou emissão de poluição ao longo de uma cadeia com início e final. São, portanto, indicadores holísticos que

ajudam a enxergar fatos que são ocultos quando se leva em consideração indicadores simples. É muito provável que o conceito de emergia, criado pelo ecologista Howard Thomas Odum, na década de 70, seja uma das influências para a criação dos indicadores de "pegada".

Emergia, para Odum (1996), é toda energia necessária para um ecossistema produzir um recurso, seja energia em suas mais variadas formas, material, serviço humano ou da natureza. Seu conceito é construído sob uma visão científica que abarca o mundo como um todo orgânico e não sob uma perspectiva reducionista e simplista. Na emergia há o interesse na discussão espacial, social, temporal e ambiental da ciência.

Comar (1998) acrescenta que a emergia estima os valores das energias naturais geralmente não contabilizadas, incorporadas em produtos, processos e serviços. Por meio de indicadores (índices emergéticos), esta abordagem desenvolve uma imagem dinâmica dos fluxos anuais dos recursos naturais e dos serviços ambientais providenciados pela natureza na geração de riqueza e o impacto das atividades antrópicas nos ecossistemas. Para Siche *et al.* (2008), o objetivo da avaliação emergética é a obtenção de uma medida termodinâmica de energia utilizada para produzir um recurso. Ela usa uma unidade comum para todos os recursos: o joule solar equivalente (seJ). Desta forma, a emergia é usada para dar valor aos recursos naturais que a economia não avalia corretamente.

De forma análoga ao caráter sistêmico da emergia, o método da pegada de carbono foi desenvolvido para avaliar as emissões de gases de efeito estufa de bens e serviços em todo o seu ciclo de vida e aborda um único indicador para a mudança climática. Segundo Franke e Castro (2013), este método quantifica as emissões de todas as etapas do ciclo de vida do produto, tais como extração, produção, uso e disposição, e é definido como uma abordagem do “berço ao túmulo”. A pegada de carbono é calculada com base nas emissões de gases de efeito estufa identificados e quantificados nas etapas do sistema. Os gases de efeito estufa mais comuns e importantes são dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O).

A pegada ecológica, por sua vez, foi introduzida em 1992 por William Rees, economista canadense, e é um valioso instrumento de avaliação dos impactos antrópicos no meio natural. De acordo com Siche *et al.* (2013), é uma medida do impacto da população expressa em termos de área apropriada. Ou seja, representa a superfície do território ecologicamente produtivo em categorias diversificadas (terras aráveis, pastagens, florestas, oceanos e zonas de absorção de CO₂), necessária para fornecer os recursos de energia consumidos por uma população e para absorver o que for descartado. Para Cidin e Silva

(2004), este indicador contrasta o consumo dos recursos pelas atividades humanas com a capacidade de suporte da natureza e mostra se seus impactos no ambiente global são sustentáveis à longo prazo.

Ainda sobre a pegada ecológica, Veiga (2010) ressalta seu papel como indicador de sustentabilidade ao argumentar que:

A sustentabilidade ecossistêmica corresponderia a um suposto “equilíbrio”. Controvérsia que com ainda mais rapidez desembocou em solução de compromisso, com a ascensão do conceito de resiliência: a capacidade que tem um sistema de enfrentar distúrbios mantendo suas funções e estrutura. Isto é, sua habilidade de absorver choques, a eles se adequar, e mesmo deles tirar benefícios, por adaptação e reorganização. um ecossistema se sustenta se continuar resiliente, por mais distante que esteja do equilíbrio imaginário. Foi essa convergência teórica que levou à comparação entre a biocapacidade de um território e as pressões a que são submetidos seus ecossistemas pelo aumento do consumo de energia e matéria por sociedades humanas e suas decorrentes poluições. Comparação que dá base à pegada ecológica como indicador de tão fácil compreensão que se torna cada vez mais popular.

A ideia da pegada hídrica deriva da teoria da pegada ecológica, abordando a questão da apropriação dos recursos hídricos pela humanidade. Segundo Dumont *et al.* (2013), da mesma forma que as pegadas ecológicas e de carbono, a lógica da pegada hídrica é baseada inicialmente na perspectiva do consumidor, uma vez que quantifica direta e indiretamente (isto é, em toda a cadeia de produção) a utilização de água para a elaboração de produtos, associado ao padrão de consumo de uma pessoa ou de uma população. A diferença fundamental entre os dois indicadores é que, enquanto a pegada ecológica faz referência a uma área bioprodutiva necessária para sustentar uma população, a pegada hídrica representa o volume de água doce necessário para o mesmo propósito. Para Hoekstra (2009), os dois conceitos de "pegada" são considerados como indicadores complementares do uso de capital natural em relação ao consumo humano. Nenhum dos indicadores podem substituir o outro, simplesmente porque cada um fornece informações diferentes.

3.4.3 Tipos de pegada hídrica

As estatísticas tradicionais de utilização de água doce apenas fazem referência ao uso direto da “água azul”, ou seja, a água doce superficial ou subterrânea, enquanto a pegada hídrica considera os usos diretos e indiretos de três tipos de água: “água azul”, “água verde” e “água cinza”. Assim, Hoekstra e Chapagain (2008) convencionaram por cores os três componentes da pegada hídrica de um produto: a pegada hídrica verde, a azul e a cinza. Isto se faz necessário porque a pegada hídrica é um indicador da apropriação direta e indireta da água doce; apropriação esta que inclui tanto o uso de água consuntivo (pegada hídrica verde e azul), como a água necessária para assimilar a poluição (pegada hídrica cinza).

Assim, distinguem-se as pegadas hídricas verde, azul e cinza porque são referentes a três tipos diferentes de água, o que é adequado para formular políticas que levem à sustentabilidade deste recurso. Neste contexto, as pegadas hídricas verde, azul e cinza medem diferentes tipos de apropriação da água. Segundo TNC (2013), a pegada hídrica verde está relacionada à água das chuvas, que é necessária para o crescimento das plantas, por exemplo. A pegada hídrica azul mede o volume das águas de superfície e subterrânea consumidas (rios, lagos e lençóis freáticos) que pode ser utilizada para diversas finalidades, incluindo irrigação, lavagem, processamento e refrigeração. Para a pegada hídrica cinza, considera-se o volume de água que é necessário para diluir um determinado poluente até que a água aonde este efluente foi lançado retorne às suas condições aceitáveis (usando padrões de qualidade de água vigentes).

3.4.3.1 Pegada hídrica verde

Hoekstra *et al.* (2011) definem a “água verde” como a água oriunda de precipitações, que não escapa nem preenche os mananciais, e sim é armazenada temporariamente no solo ou permanece temporariamente em cima do solo ou vegetação. Assim, a água verde só é acessível por meio da ocupação direta da região (Ridoutt *et al.*, 2012). A pegada hídrica verde, dessa forma, se refere à utilização desta água. É o volume de água proveniente de chuva consumida durante o processo de produção. O cálculo da pegada hídrica verde é particularmente relevante para produtos baseados em culturas agrícolas devido à referência à evapotranspiração. A pegada hídrica verde é obtida da seguinte forma:

$PH_{\text{verde}} = \text{Evaporação da Água Verde} + \text{Incorporação de Água Verde} [\text{volume/tempo}]$

A pegada hídrica verde da cultura (m^3/t) é estimada como a proporção da utilização da água verde (m^3/ha) para o rendimento da colheita (t/ha), onde o uso total de água verde é obtido somando-se evapotranspiração da água verde durante o período de crescimento. (Aldaya e Hoekstra 2010)

3.4.3.2 Pegada hídrica azul

A pegada hídrica azul é o indicador do consumo de “água azul”, ou seja, água doce superficial e subterrânea. A imagem mais precisa da pressão sobre os recursos hídricos azuis leva em conta as necessidades de água do ambiente, das variações sazonais de chuvas e vazões dos rios e dos fluxos de retorno às fontes de água azul de usos da água agrícola, industrial e doméstico (Chapagain e Tickner 2012).

A pegada hídrica azul se refere aos recursos hídricos azuis usados para produzir bens e serviços (Ercin *et al.*, 2011). Para Hoekstra *et al.* (2011), o termo “uso de água de consumo” refere-se a um dos quatro casos seguintes: evaporação da água; água incorporada no produto; não-retorno da água para a área de captação (água é retornada para outra área ou para o mar); e não retorno da água no mesmo período (água é retirada no período escasso e é retornada no período chuvoso).

De acordo com Dumont *et al.* (2013), a especificidade da pegada hídrica em termos de apropriação de recursos hídricos pela humanidade é calcular o uso de consumo (água não disponível novamente na bacia do rio para outros usuários) associado a um uso ou processo específico. Ele contrasta com indicadores comuns que incidem sobre a demanda de água ou retiradas. Assim, conforme Chapagain e Tickner (2012) a pegada hídrica azul é muitas vezes menor do que o volume de água retirado porque um pouco de água pode retornar para o chão ou corpo de água de superfície a partir da qual foi retirada. Normalmente, consiste em água de irrigação e/ou uso de água direta na indústria ou em casa, menos fluxos de retorno.

A pegada hídrica azul total se dá pela soma das pegadas hídricas azuis de todos os processos. Conforme Hoekstra *et al.* (2011), a pegada hídrica azul de uma etapa do processo é calculada da seguinte forma:

$PH_{\text{proc,azul}} = \text{evaporação da água azul} + \text{incorporação da água azul} + \text{vazão de retorno perdida}$
[volume/ tempo]

O último componente se refere à porção do fluxo de retorno que não está disponível para o reúso dentro da mesma bacia hidrográfica, no mesmo período de retirada, seja por ter retornado à outra bacia (ou por ter sido lançado no mar) ou por ter retornado em outro período (Hoekstra *et al.*, 2011).

A distinção entre a pegada hídrica azul e verde, para Hoekstra *et al.* (2011), é muito importante devido aos impactos hidrológicos, ambientais e sociais, assim como os custos e impactos do uso da água superficial e do sub-solo diferem dos custos e impactos do uso de água de chuva. A determinação das pegadas hídricas azul e verde é geralmente realizada usando estimativas da evapotranspiração (ET), obtidas com uma abordagem que recorre ao uso de coeficientes culturais e de uma evapotranspiração de referência, utilizando o modelo CROPWAT (Hoekstra *et al.*, 2011; Mekonnen e Hoekstra, 2011)

3.4.3.3 Pegada hídrica cinza

A pegada hídrica cinza indica o grau de poluição de água doce associada ao processo de produção. Sua inclusão é relativamente recente nos estudos de uso da água, mas é justificado considerando a relevância da poluição no contexto da escassez hídrica (Mekonnen e Hoekstra, 2011).

Hoekstra *et al.* (2011) definem a pegada hídrica cinza como o volume de água doce que é requerido pra assimilar a carga de poluentes, baseando-se nas concentrações naturais e padrões de qualidade de água existentes. Velásquez *et al.* (2011) reforçam o conceito ao afirmarem que, no momento, a melhor abordagem disponível para água cinza é a de que a mesma é todo o volume de água necessário para diluir a poluição da água usada. É calculada dividindo-se a carga de poluentes (L) pela diferença entre a máxima concentração aceitável para aquele poluente específico (C_{max}) e sua concentração natural (C_{nat}) naquele corpo de água que assimila o poluente (Hoekstra *et al.*, 2011):

$$PH_{\text{cinza}} = L / (C_{\text{max}} - C_{\text{nat}}) \text{ [volume/ tempo]}$$

3.4.4 Pegada hídrica de produtos de origem agropecuária

A pegada hídrica de produtos agropecuários é calculada dividindo a pegada hídrica do produto raiz (entrada) pela fração do produto. Esta última é definida como a quantidade do produto transformado obtido por quantidade de produto raiz. Se o produto da raiz é processado em dois ou mais diferentes produtos, a pegada do produto raiz água é distribuída através dos seus produtos separados, o que é feito proporcionalmente ao valor dos produtos resultantes (Aldaya e Hoekstra, 2010).

Para o caso da pegada hídrica de produtos de origem animal, conforme Dumont *et al.* (2013), deve se considerar o consumo direto e indireto de água do animal vivo. O primeiro refere-se à água consumida pelo animal e pela manutenção. A pegada hídrica indireta refere-se à água virtual incorporada em ração animal proveniente de produção agrária externa. Assim, segundo Hoekstra (2010), a pegada hídrica de um animal é calculada baseando-se na pegada hídrica de toda a sua alimentação durante sua vida e os volumes de água consumida para dessedentação e outras atividades, como as de higiene. A pegada hídrica total do animal é dividida em vários subprodutos derivados. A Tabela 1 apresenta as pegadas hídricas de alguns produtos de origem animal em comparativo com produtos de origem agrícola.

Tabela 1. Pegada hídrica de produtos de origem agropecuária

Produto animal	Litro/ kg	Cultura	Litro/ kg
Couro bovino	16600	Arroz	3400
Carne bovina	15500	Amendoin em casca	3100
Carne ovina	6100	Trigo	1300
Queijo	5000	Milho	900
Carne suína	4800	Maçã ou pêra	700
Leite em pó	4600	Laranja	460
Carne caprina	4000	Batata	250
Frango	3900	Repolho	200
Ovo	3300	Tomate	180
Leite	1000	Alface	130

Fonte: Adaptado de Hoekstra (2010)

Produtos de origem bovina têm uma grande pegada hídrica. Para o caso específico da carne bovina, considera-se um sistema industrial de produção que leva três anos para abater um animal e produzir 200 quilogramas de carne desossada. Aceita-se que o animal tenha consumido 1300 quilogramas de ração, 7200 quilogramas de forragem, 24 metros cúbicos de água para dessedentação e 7 metros cúbicos de água para limpeza geral. Isto significa que, para cada quilograma de carne desossada, foram utilizados 6,5 quilogramas de ração, 36 quilogramas de forragem e 155 litros de água de beber. A produção de todo este sustento tem embutidos 15500 litros de água (Hoekstra, 2010).

O autor, entretanto, alerta que o exemplo apresentado acima é uma média global. Em termos gerais, a pegada hídrica da carne bovina obtida em sistemas industriais é menor do que a obtida em sistemas com pastagens. Entretanto, é necessário atentar-se à origem da água: enquanto a pegada hídrica da carne proveniente de um sistema industrial refere-se à água de irrigação (água azul) para uma cultura de grãos localizada em outra área, que pode sofrer com escassez hídrica, a pegada hídrica da carne provinda de sistemas com pastagem refere-se à água verde, por meio da qual as pastagens se desenvolvem.

Segundo Hoekstra (2011), o Brasil é um país onde há um dos maiores consumos de carne do mundo, com consumo *per capita* de quase 40 quilos ao ano. Este fato é um agravante para o aumento da pegada hídrica no país, uma vez que as carnes de boi, de carneiro e de porco apresentam, respectivamente, pegada hídrica de 15500, 6100 e 4800 L/Kg, as mais altas de produtos de origem animal.

3.4.5 Pegada hídrica de um consumidor

A pegada hídrica de um consumidor é definida, de acordo com Hoekstra *et al.* (2011), pelo volume total de água doce consumida e poluída na produção dos bens e serviços utilizados pelo consumidor; já a pegada hídrica de um grupo de consumidores é igual à soma das pegadas hídricas dos consumidores individuais. Desta forma, de acordo com Vanham (2013), a pegada hídrica do consumidor é definida como o volume total de água doce que é utilizado para produzir os produtos consumidos pela habitantes de uma região geográfica. É a soma do uso da água doméstica direta e indireta e de recursos hídricos estrangeiros através do consumo de bens.

É obtida pela soma da pegada hídrica direta deste consumidor e de sua pegada

hídrica indireta (Hoekstra, 2011):

$$PH_{\text{cons}} = PH_{\text{cons,dir}} + PH_{\text{cons,indir}}$$

A pegada hídrica direta refere-se ao consumo de água e poluição relacionadas ao uso da água em casa ou no jardim. A pegada hídrica indireta refere-se, por exemplo, à comida, roupas, papel, energia e outros bens de consumo industriais. Obtem-se pela multiplicação de todos os produtos consumidos pelas suas respectivas pegadas hídricas (Hoekstra, 2011):

$PH_{\text{cons,indir}} = \sum_p(C[p] \cdot Ph_{\text{prod}}[p])$, onde $C[p]$ é o consumo do produto "p" (unidades de produto/ tempo) e $PH_{\text{prod}}[p]$ representa a pegada hídrica desse produto (volume de água/ unidade de produto).

3.5 Reúso de água

Atualmente, constata-se um panorama de escassez hídrica, que atinge principalmente regiões áridas e semiáridas, nas quais a água é um fator limitante para o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola e para a qualidade de vida da sociedade. Neste cenário, o conceito de substituição de fontes se mostra como a alternativa mais plausível para satisfazer a demandas menos restritivas, possibilitando que as águas de melhor qualidade sejam usadas para fins mais nobres, como uso doméstico. Para Hespanhol (2002), as águas de qualidade inferior, tais como esgotos, particularmente os de origem doméstica, águas de drenagem agrícola e águas salobras, devem, sempre que possível, ser consideradas como fontes alternativas para usos menos restritivos.

Desta forma, a água, recurso natural renovável que sofre grande pressão antrópica, pode ter sua pressão mitigada por meio do reúso de água. Conforme Hespanhol (2002), por meio do ciclo hidrológico, a água se constitui em um recurso renovável. Quando reciclada através de sistemas naturais, é um recurso limpo e seguro que é, pela atividade antrópica, deteriorada a níveis diferentes de poluição. Entretanto, uma vez poluída, a água pode ser recuperada e reusada para fins benéficos diversos.

De acordo com Asano *et al.* (2007), água, alimentos e energia são três dos principais problemas relativos a recursos que o mundo enfrenta hoje. A fim de equacionar estas

questões, águas residuárias domésticas agora estão sendo vistas mais como um recurso do que como desperdício, um recurso para a água, para energia e para nutrição de plantas, principalmente devido ao nitrogênio (N) e fósforo (P). Segundo Beekman (1996), como a demanda pela água continua a aumentar, o retorno das águas servidas e o seu reúso vem se tornando um componente importante no planejamento, desenvolvimento e utilização dos recursos hídricos, tanto em regiões áridas, como em regiões úmidas. A utilização das águas servidas para propósitos de uso não potável, como na agricultura, representa um potencial a ser explorado em substituição à utilização de água tratada e potável.

Para Speece (2008), a utilização de águas residuais para paisagens, irrigação de culturas e também para o consumo doméstico é uma prática amplamente aceita e crescente, pois além de economizar água, faz uso dos elementos fertilizantes que ele contém. Da mesma forma, a utilização de águas residuais domésticas como fonte de energia tem uma longa história, especialmente por meio da conversão anaeróbia da matéria orgânica do esgoto em gás metano (CH₄), um biocombustível útil. Conforme Guidolim (2000), é imprescindível destacar o conteúdo dos elementos minerais presentes em efluentes urbanos brutos, como macronutrientes, como N, P e K, e micronutrientes, como As, Cd, Cr, Hg, Mo, Ni, Pb, Se e Zn, alguns deles necessários ao desenvolvimento vegetal e outros até fitotóxicos.

Como já destacado, a atividade de irrigação é a maior consumidora de água entre os diversos usos da água. Segundo Hespanhol (2002), a agricultura depende, atualmente, de suprimento de água a um nível tal que a sustentabilidade da produção de alimentos não poderá ser mantida, sem o desenvolvimento de novas fontes de suprimento e a gestão adequada dos recursos hídricos convencionais. Desta forma, a utilização da água de reúso na agricultura é uma medida que reduz o consumo de água e ao mesmo tempo beneficia os agricultores, não apenas pela economia com gastos com irrigação, mas também com a redução do uso de adubos sintéticos e aumento de produtividade, trazendo benefícios econômicos e ambientais.

O reúso de água residuária é, assim, uma solução particularmente atraente, e várias formas de tratamento dessas águas têm sido pesquisadas com o objetivo de encontrar formas de cumprir os rigorosos requisitos legais para reutilização direta de efluente de esgoto tratado na agricultura, indústria ou aplicações urbanas (Verlicchi *et al.*, 2012). Os requisitos legais são rigorosos porque os efluentes podem contaminar rios e lagos e causar doenças como a cólera (Narain, 2012). Portanto, seu uso na agricultura deve ser cuidadosamente planejado, para controlar, em curto prazo, os efeitos com microrganismos e, em longo prazo, os efeitos

da salinidade, sodicidade, nutrientes e oligoelementos, sobre os solos e as culturas (Lemos, 2011). Para Bertoncini (2008), o uso de resíduos em solos deve ser constantemente monitorado, para que não haja contaminação do sistema solo-água-plantas e, conseqüentemente, de quem os manipula.

A prática do reuso de água, proposta por Hespanhol (2002), segundo a qual é possível utilizar as águas de menor qualidade para fins menos restritivos, pode ser operacionalizada também em nível micro, como em uma residência familiar. Um simples exemplo é a implantação de um sistema de captação da água usada durante banho para o reuso em descargas, uma vez que este uso não demanda água de alta qualidade.

Diante do exposto, o reuso apresenta diversas vantagens do ponto de vista econômico, social e ambiental, listadas a seguir: propicia o uso sustentável dos recursos hídricos; minimiza a poluição hídrica nos mananciais; estimula o uso racional de águas de boa qualidade; permite evitar a tendência de erosão do solo e controlar processos de desertificação, por meio da irrigação e fertilização de cinturões verdes; possibilita a economia de dispêndios com fertilizantes e matéria orgânica; provoca aumento da produtividade agrícola; gera aumento da produção de alimentos; e permite maximizar a infra-estrutura de abastecimento de água e tratamento de esgotos pela utilização múltipla da água aduzida.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 A área de estudo

O estudo foi realizado na microbacia Riacho Fundo, que situa-se entre as coordenadas geográficas $7^{\circ}25'12''$ e $7^{\circ}30'06''$ de latitude Sul e $36^{\circ}20'02''$ e $36^{\circ}24'50''$ de longitude Oeste (Figura 2). Esta microbacia se localiza no município de Cabaceiras, Estado da Paraíba, e está a cerca de 15 km a leste da sede municipal.

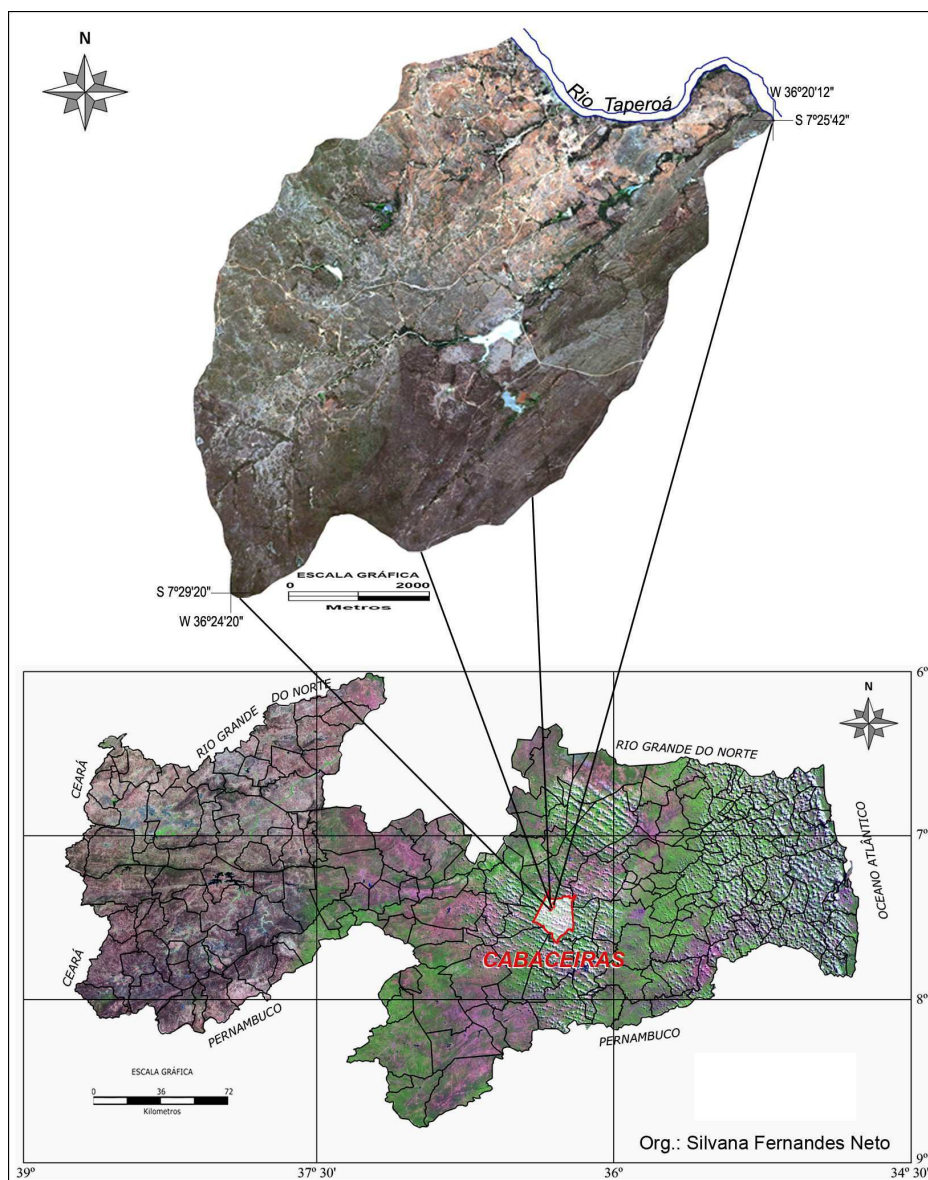


Figura 2. Mapa de localização da microbacia hidrográfica Riacho Fundo/PB

Optou-se por uma microbacia porque, conforme a política nacional de gerenciamento de recursos hídricos, a bacia hidrográfica é a unidade de referência e planejamento. A microbacia específica, por estar situada em pleno semiárido brasileiro, região que reconhecidamente é abalada por déficit hídrico, aumenta a relevância de qualquer estudo que trate de sustentabilidade da água. Adicionalmente, a microbacia Riacho Fundo é uma área que vem se mostrando propícia a pesquisas, tendo em vista que o lugar é local de execução do projeto intitulado de Unidade de Tecnologias Integradas para Conservação de Recursos Hídricos – UT – HIDRO aprovado pelo MCT/CNPq/CT – AGRONEGOCIO / CT-HIDRO – N° 27/ 2008 e que teses de doutorado e dissertações de mestrado já foram realizadas com levantamento de dados na região.

O município de Cabaceiras (PB) está localizado na Microrregião Cariri e na Mesorregião Borborema do Estado da Paraíba, estando, portanto, geograficamente inserido na porção central do estado. Sua Área é de 400 km² e representa 0.7091% do Estado, 0.0258% da Região e 0.0047% de todo o território Brasileiro. A sede do município tem uma altitude aproximada de 388 m, distando 162,3602 km da capital. A partir da capital João Pessoa, o acesso é feito pelas rodovias BR 230 / PB 148 (CPRM, 2005). Como aspectos demográficos, o mesmo apresenta uma população de cerca de 4290 habitantes (IBGE, 2000) com estimativas de uma população de 5112 habitantes em 2009, sendo 58,95% residentes na zona rural e 41,02% domiciliados na zona urbana.

De acordo com o PNUD (2000) o município no ano 2000 apresentava um Índice de Desenvolvimento Humano – IDH de 0,682. Segundo a classificação do PNUD, o município está entre as regiões consideradas de médio desenvolvimento humano por apresentar um IDH entre 0,5 e 0,8. Em relação aos outros municípios do Brasil, Cabaceiras apresenta uma situação intermediária: ocupa a 3272ª posição, sendo que 3271 municípios (59,4%) estão em situação melhor e 2235 municípios (40,6%) estão em situação pior ou igual. Em relação aos outros municípios do Estado ainda segundo o PNUD (2000), Cabaceiras apresenta uma situação boa: ocupa a 8ª posição, sendo que 7 municípios (3,1%) estão em situação melhor e 215 municípios (96,9%) estão em situação pior ou igual.

A microbacia do Riacho Fundo possui uma área de aproximadamente 3.300 ha, sendo afluente da sub-bacia do Rio Taperoá, que deságua no Açude Público Epitácio Pessoa (Boqueirão) e pertence à bacia hidrográfica do Rio Paraíba. Uma bacia hidrográfica é, basicamente, uma área terrestre em que toda a água que está sob a mesma ou que escorre pela

mesma, converge para um mesmo lugar (EPA, 2012). Desta forma, é toda a área de captação natural da água da chuva que escoam superficialmente para um corpo de água ou seu contribuinte, ou seja, é uma unidade biogeofisiográfica que drena para rio, lago, represa ou oceano, constituindo uma unidade natural de pesquisa e gestão (Tundisi e Matsumura-Tundisi, 2008). Para Tundisi (2008), uma bacia hidrográfica tem todos os elementos para integração de processos biogeofísicos, econômicos e sociais. É a unidade natural que permite integração institucional, integração e articulação da pesquisa com o gerenciamento, e possibilita ainda implantar um banco de dados que funcionará como uma plataforma para o desenvolvimento de projetos com alternativas, levando-se em conta os custos destas.

Conforme Rocha e Kurtz (2001), tecnicamente é aconselhável começar a recuperar o meio ambiente adotando como unidade básica as bacias hidrográficas, as quais, subdivididas em sub-bacias e microbacias, tem mostrado grande eficiência em trabalhos de campo, conforme as recomendações dadas pelo Programa Nacional de Microbacias.

4.2 Procedimentos metodológicos

4.2.1 Pesquisa bibliográfica

Para a concepção inicial da tese, foram feitas pesquisas bibliográficas em livros, teses e periódicos, envolvendo os temas sustentabilidade e desenvolvimento sustentável, o recurso natural água, a pegada hídrica, o semiárido e o reúso de águas. Sobre este tipo de pesquisa, Gil (2008) a caracteriza como aquela desenvolvida com base em material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos.

4.2.2 Pesquisa de campo

A pesquisa de campo consistiu no levantamento de dados nas residências da microbacia. Os dados foram utilizados para alimentar o sistema *Water Footprint Extended Calculator*, conforme será melhor explicado adiante.

Como existem 352 residências na microbacia Riacho Fundo, foi necessário definir uma amostra representativa. Para tal, foi utilizada a fórmula deduzida pelo Professor de Estatística do Centro de Ciências Rurais - CCR da Universidade Federal de Santa Maria –

UFSM, Dr. Valduino Stefanel, utilizada por Rocha (1997):

$$n = \frac{3,841 \cdot N \cdot 0,25}{\{(0,1)^2 \cdot (N - 1) + 3,841 \cdot 0,25\}}$$

Em que:

n = domicílios a serem visitados

3,841 = valor tabelado proveniente do Qui-Quadrado

0,25 = variância máxima para um desvio 0,5

0,1 = erro amostral de 10%

N = número total de casas da microbacia

Assim,

n = 75,6 residências

Entretanto, para conferir maior confiabilidade, os dados foram levantados em 100 residências, o que equivalem a 28,4% do universo de residências da área de estudo.

Definida a amostra, foram obtidos os dados de entrada por meio de um instrumento de coleta dirigido ao consumidor, que foi o chefe da família ou seu cônjuge, com questões específicas do software *Water Footprint Extended Calculator*. Estas questões referem-se a: consumo de alimentos; consumo doméstico, que é subdividido em uso em ambiente interno e uso em ambiente externo; e consumo de bens industrializados, conforme a Tabela 2.

O software *Water Footprint Extended Calculator* calcula a pegada hídrica individualmente. Como interessa a pegada hídrica média da residência, tomou-se informações médias de toda a residência. Porém, durante o primeiro levantamento de dados, constatou-se extrema dificuldade das pessoas em responder as questões referentes à alimentação como apresentadas na Tabela 2. Foi percebida a aleatoriedade de algumas respostas, que levariam à geração de informações irreais. Para resolver o problema, foram obtidos aleatoriamente em algumas residências os pesos de porções de alimentos cuja entrada é exigida em peso (kg) no software. A partir dos quais, chegou-se a um peso de porção padrão para cada um destes alimentos. Desta forma, durante o levantamento de dados, em vez de ser questionado o consumo de alimentos por peso, foi questionado o número de vezes, semanalmente, em que

aquele alimento era consumido. Na tabulação dos dados, estes números foram multiplicados pelas porções padrão obtidas anteriormente, gerando dados de entrada mais fidedignos.

Esta adaptação metodológica se mostrou bastante eficaz. Como discutido no capítulo 5, o consumo médio de carne obtido na microbacia foi de 31,72 kg por pessoa/ ano, o que é semelhante ao consumo médio de carne no Brasil obtido por Hoekstra e Mekonnen (2012): 32 kg por pessoa/ ano.

Outra adaptação metodológica se refere ao uso de água interno e externo. No *software*, conforme a Tabela 2, pode-se entrar com o dado referente ao tipo de chuveiro: padrão ou baixo fluxo. Não foi constatado nenhum chuveiro de baixo fluxo. Entretanto, algumas famílias costumam fechar o chuveiro durante a etapa de ensaboamento. Quando isto ocorreu, considerou-se chuveiro de baixo fluxo.

Tabela 2. Questões do *Water Footprint Extended Calculator*

Pegada hídrica	Medida
Alimentação	
Cereais (trigo, arroz, milho, etc)	kg por semana
Carne	kg por semana
Ovos	Quantidade por semana
Teor de gordura	Alto, médio e baixo
Consumo de açúcar	Alto, médio e baixo
Vegetais	kg por semana
Frutas	kg por semana
Tubérculos	kg por semana
Xícaras de café	Quantidade por semana
Xícaras de chá	Quantidade por semana
Uso direto de água	
Interno	
Banhos	Quantidade por dia
Duração de cada banho	Minutos por banho
Tipo de chuveiro	Padrão/ baixo fluxo
Banhos de banheira	Quantidade por semana
Limpeza pessoal (dentes, mãos, barba)	Quantidade por dia
Deixa a torneira aberta na limpeza pessoal?	Sim ou não
Lavagem de roupa	Quantidade por semana
Sistema de dupla descarga	Sim ou não

Lavagem de louça manual	Quantidade por dia
Duração de cada lavagem	Minutos por lavagem
Máquina de lavar louça	Utilizações por semana
Externo	
Lavagem de carro	Quantidade por semana
Irrigação de plantas	Quantidade por semana
Tempo de cada irrigação	Minutos por irrigação
Tempo em lavagem de equipamentos e áreas externas	Minutos por semana
Capacidade da piscina	Metros cúbicos
Esvaziamento da piscina	Quantidade por ano
Consumo e bens industrializados	
Renda anual bruta	US\$ por ano

Por fim, foi verificada a alta incidência de motocicletas na localidade. Como o *software* dispõe apenas de entrada do número de lavagens de carros, foram consultadas algumas empresas do ramo de lavagens veiculares (lava-jato) e foi obtida a informação de que, geralmente, uma lavagem de motocicleta consome 1/3 (um terço) do volume de água de uma lavagem de carro. Assim, para a lavagem de motocicleta que ocorre uma vez por semana, foi introduzido o valor 0.33 na entrada referente à lavagem de carro.

4.2.3 Cálculo da pegada hídrica

Os dados coletados foram tratados conforme estas adaptações metodológicas e alimentaram um sistema que exibiu as informações desejadas, conforme o ciclo I-P-O (*Input – Process – Output*), ou seja, entrada – processamento – saída, conforme a Figura 3.

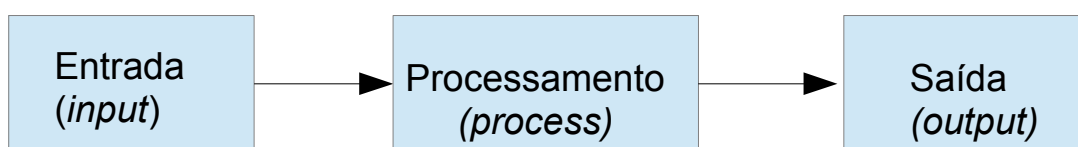


Figura 3. Ciclo I-P-O

Fonte: Elaboração própria

O sistema utilizado foi o *software Water Footprint Extended Calculator*, desenvolvido pelos pesquisadores holandeses Arjen Y. Hoekstra, Ashok K. Chapagain e

Mesfin M. Mekonnen em 2005, cujo fluxograma está apresentado na Figura 4. O *software Water Footprint Extended Calculator*, disponibilizado pela *Water Footprint Network*, é acessível e utilizável diretamente de algum navegador (*browser*). No presente estudo, foi utilizado o navegador *Mozilla Firefox*. O software pode ser acessado por meio do *hiperlink* <http://www.waterfootprint.org/?page=cal/WaterFootprintCalculator>.

A entrada se refere à inserção dos dados no software. Posteriormente, o botão “*submit*” deve ser clicado para o devido processamento dos dados. A ferramenta *Water Footprint Extended Calculator* é construída com complexos cálculos adaptados à realidade de cada país.

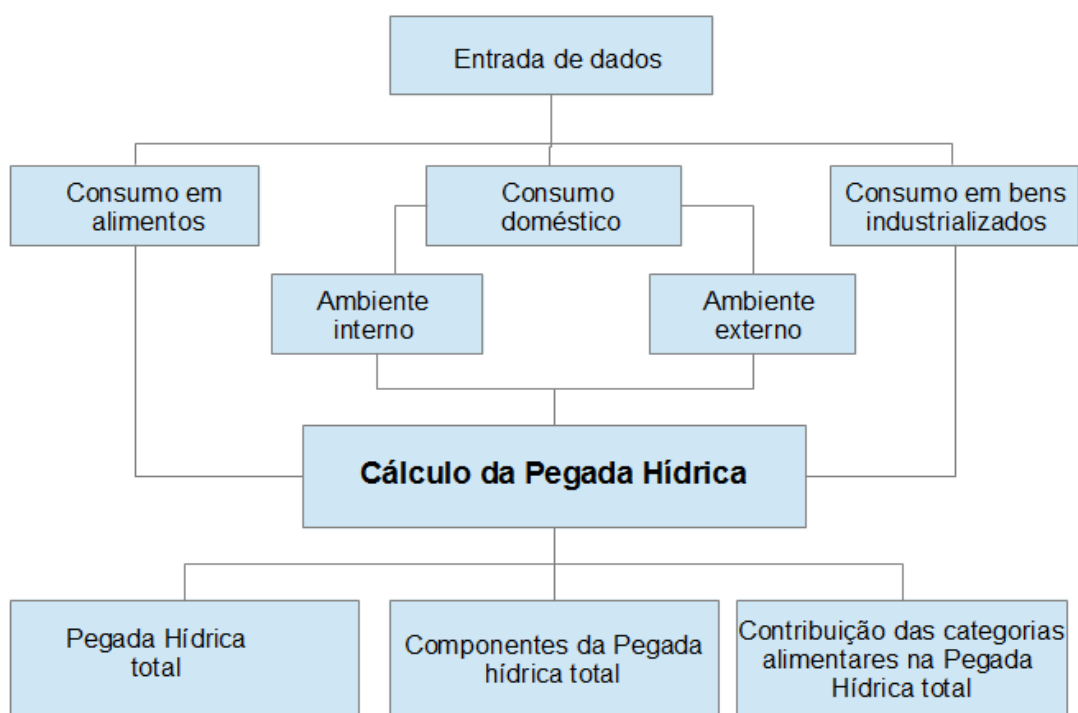


Figura 4. Fluxograma do *Water Footprint Extended Calculator*

Fonte: Adaptado de *Water Footprint Network* (2013)

Após o processamento, o software retorna, conforme a Figura 5, que apresenta a sua interface de saída:

- a) A pegada hídrica total;
- b) A participação dos componentes alimentação, uso doméstico e consumo de bens industrializados nesta pegada hídrica total; e
- c) A contribuição das categorias alimentícias na pegada hídrica, assim listadas: cereais, carnes,

vegetais, frutas, laticínios, estimulantes, gorduras, açúcares, ovos e outros.

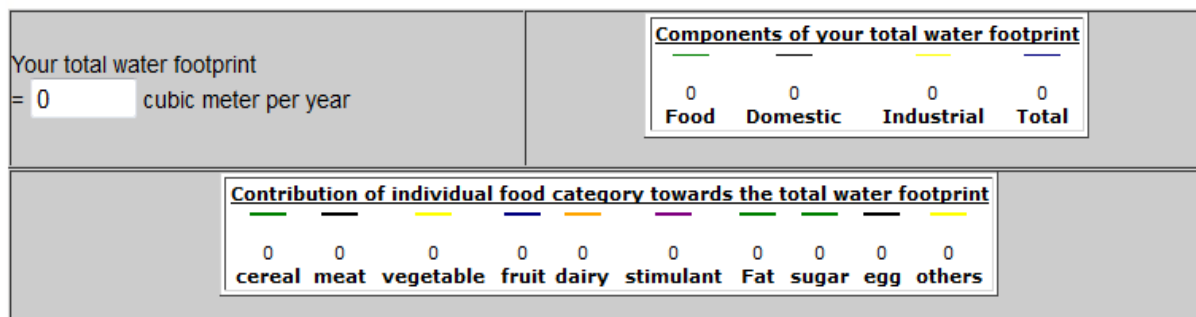


Figura 5. Interface de saída do *Water Footprint Extended Calculator*

Fonte: *Water Footprint Network (2013)*

4.2.4 Relação da pegada hídrica com renda, zona de moradia, grau de instrução e idade

Em diagnóstico socioeconômico realizado na localidade, Abreu (2013) obteve indicadores sociais junto às mesmas 100 residências consultadas no presente estudo, que foram os seguintes: zona de moradia (rural ou urbana), grau de instrução da maioria dos residentes e idade média dos residentes, além da renda, já aqui obtida. Desta forma, foi possível relacionar estes indicadores, cruzando-os isoladamente e diretamente com as pegadas hídricas identificadas.

4.2.5 Desenvolvimento da sub-rotina

Para simulação de cenários de reúso de água e cálculo dos volumes de água utilizados diretamente nas residências, foi desenvolvida uma sub-rotina para o *software Water Footprint Extended Calculator*. Uma sub-rotina, ou subprograma, em ciência da computação, tem a função de resolver um problema específico, parte de uma aplicação maior que, neste caso, é o *Water Footprint Extended Calculator*. Assim, a sub-rotina aqui desenvolvida tem o propósito de ampliar as informações geradas pelo *Water Footprint Extended Calculator*, possibilitando exatamente a simulação de cenário de reúso de água e obtenção dos volumes de água utilizados diretamente. A sub-rotina foi desenvolvida em um software de planilha eletrônica, o Calc, do pacote Libre Office.

4.2.6 Cálculo dos volumes de água utilizados diretamente

Entre os dados levantados para alimentação do *software Water Footprint Extended Calculator*, para cálculo da pegada hídrica e seus componentes, estão aqueles referentes ao uso direto de água, tanto em ambiente interno como externo à residência, conforme a Tabela 2. Estes dados foram introduzidos na sub-rotina, que informou o volume de água utilizado em cada atividade em cada residência, a saber: banhos, limpeza pessoal, lavagem de roupa e de louça, referentes ao uso interno, e lavagem de carro, irrigação de plantas e lavagens externas e equipamentos, referentes ao uso externo. Para possibilitar os cálculos destes volumes na sub-rotina, se faz necessário introduzir também a quantidade de água que cada atividade gasta, por padrão. ANA (2007) fornece o gasto padrão de duas dessas atividades: lavagem de roupa e de carro, que são de 60 e 100 litros, respectivamente. As demais atividades envolvem a variável tempo e/ou economia de água, conforme a Tabela 2. Assim, não foi possível utilizar gastos padrões fornecidos pela literatura, já que os volumes mudam conforme mudam estas variáveis. Para estas atividades, os cálculos dos volumes de água foram possíveis por meio da identificação das vazões das torneiras e dos chuveiros. Estas vazões foram identificadas ao se medir, em 10 residências aleatórias, o tempo que uma torneira ou chuveiro levava para preencher uma garrafa do tipo PET de 2 litros. O tempo médio obtido foi de 30 s; o que equivale à vazão de 4 litros/ minuto. Esta vazão está de acordo com a média proposta por ANA (2007), que prevê vazões de 3 litros por minuto a 6 litros por minuto para a maioria dos casos domésticos.

4.2.7 Simulação de cenários de reúso de água

Por meio da sub-rotina criada e do *software Water Footprint Extended Calculator*, foram simulados quatro cenários de reúso de água, nos quais se reutilizaram 30%, 50%, 80% e 100% da água proveniente do uso doméstico interno para o uso doméstico externo, conforme a Figura 6.

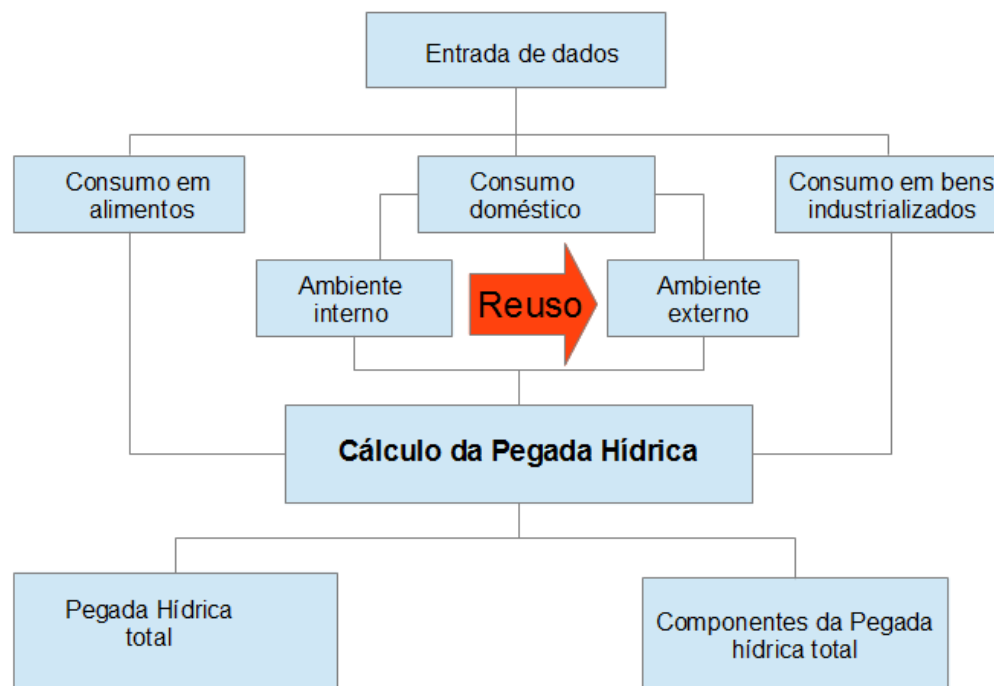


Figura 6. Fluxograma do *Water Footprint Extended Calculator* integrado ao reúso

Fonte: Adaptado de *Water Footprint Network* (2013)

Entre as atividades de uso doméstico interno, foram consideradas o banho, escovação dental, barbeamento, lavagem de mãos, lavagem de roupas e de utensílios de cozinha. Nas simulações, a água proveniente destas atividades foi reutilizada para as atividades de uso doméstico externo: lavagem de veículos, irrigação de plantas, lavagem de áreas externas e lavagem de equipamentos.

Posteriormente, de acordo com o volume de água reusado conforme o cenário (30%, 50%, 80% ou 100%) a sub-rotina debitou, proporcionalmente, estes volumes dos dados anteriormente introduzidos referentes às atividades de uso externo, gerando novos dados. Após nova entrada, com os dados que sofreram débito, o software *Water Footprint Extended Calculator* retornou as novas pegadas hídricas totais e seus componentes, simulando o reúso de água de uso doméstico interno no uso externo conforme o cenário estabelecido.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Pegada hídrica total e componentes

Os resultados da pegada hídrica total, seus componentes e a participação de cada categoria alimentar, obtidos no *software Water Footprint Extended Calculator*, são apresentados no Quadro 1. Estes resultados são apresentados de forma *per capita*, como é recomendado por Mekonnen e Hoekstra (2011). Os autores afirmam que, em números absolutos, a China é o país com a maior pegada hídrica de consumo no mundo, com um total de 1368 Gm³/ano, seguido pela Índia e os EUA com 1145 Gm³ /ano e 821 Gm³ /ano, respectivamente. Salvo exceções, os países com grandes populações tendem a ter uma pegada hídrica grande. Por isso, é recomendável avaliar a pegada hídrica *per capita*.

Analisando o Quadro 1, verifica-se que o maior valor da pegada hídrica total na microbacia hidrográfica Riacho Fundo é de 1123 m³/ ano. Este valor está abaixo da média mundial que, conforme Mekonnen e Hoekstra (2011), é de 1385 m³/ ano. Em relação à pegada hídrica do brasileiro, a média é de 1107 m³/ ano (Maracajá, 2013), muito semelhante à pegada hídrica máxima na microbacia (1123 m³/ ano). Entretanto, este valor encontrado por Maracajá (2013), quando comparado com a média da microbacia, que é de 807 m³/ ano (Tabela 2), equivale a 137% deste.

Este fato pode ser explicado pela renda média anual na localidade, que é de R\$ 5837,00, considerada baixa quando comparada com a renda média anual do Brasil, que é de R\$ 8142,00, conforme IBGE (2010). Embora o consumo de carne seja um forte determinante na pegada hídrica consuntiva, a quantidade de carne consumida por pessoa na localidade é praticamente a mesma consumida nacionalmente, conforme exposto adiante. Desta forma, constata-se que o fator renda é de fato o responsável pela diferença entre a pegada hídrica consuntiva média do Brasil e a da microbacia Riacho Fundo.

Tomando-se ainda como referência a pesquisa desenvolvida por Maracajá (2013), tem-se que a pegada hídrica total por habitante na região Nordeste é de 805 m³/ ano. Verifica-se que, na microbacia estudada, 57% das famílias têm pegada hídrica superior a este valor e 18% apresentam pegada hídrica acima de 1000 m³/ ano. Este resultado pode ser justificado pela avaliação da renda média que, na microbacia estudada, é de R\$ 5837,00, equivalente a 126% em relação à renda da região Nordeste, que é de R\$ 4630,00 anuais (IBGE, 2010).

Os valores médios de pegada hídrica total, seus componentes e participação das categorias alimentares são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Valores médios de pegada hídrica total, componentes e participação das categorias alimentares, em m³/ ano

PH total	PH de alimentação					PH de consumo de bens industrializados			PH de uso direto	
807,07	586,29					174,59			47,26	
Cereais	Carne	Vegetais	Frutas	Laticínios	Estimulantes	Gordura	Açúcar	Ovos	Outros	
75,24	249,08	7,09	31,5	32,9	84,87	0,59	3,04	25,22	62,27	

A análise da Tabela 3 permite verificar que a pegada hídrica média de alimentação, de 586,29 m³/ ano, corresponde a 72,6% da pegada hídrica média total, que é de 807,07 m³/ ano, evidenciando que, na microbacia Riacho Fundo, a pegada hídrica contida nos alimentos é a maior responsável pela pegada hídrica total consuntiva da localidade. A pegada hídrica de consumo de bens industrializados corresponde a 21,6% da pegada hídrica total e a de uso direto de água, 5,8%. Estes resultados podem ser melhor visualizados na Figura 7.

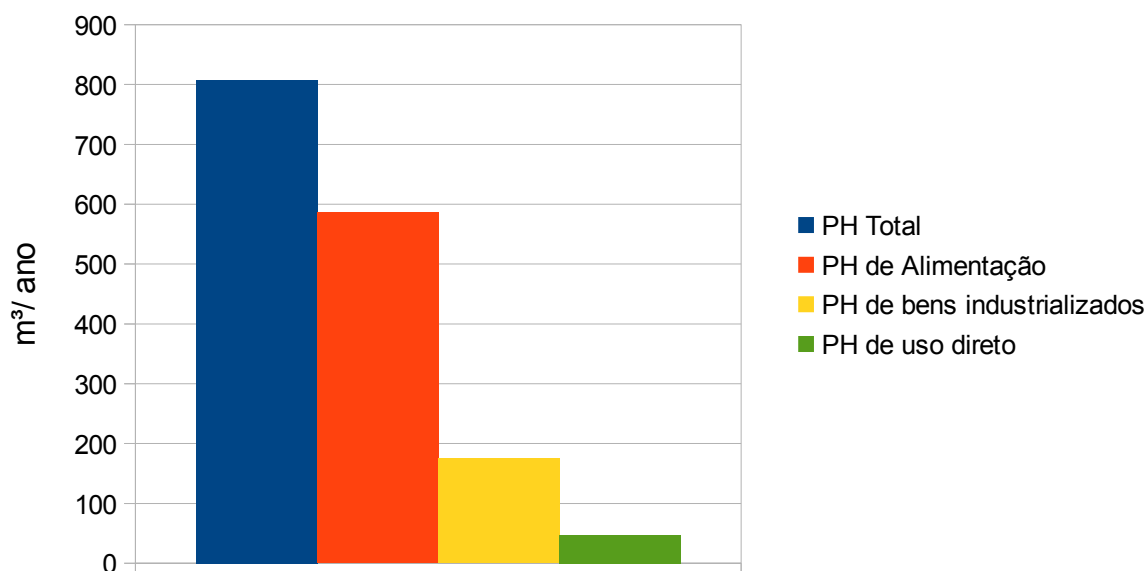


Figura 7. Representatividade de cada componente na pegada hídrica total

Fonte: Elaboração própria

Como já mencionado, Maracajá (2013) identificou que, na região Nordeste, a pegada hídrica total média por habitante é de 805 m³/ ano, valor muito semelhante ao da microbacia Riacho Fundo, encontrado pelo presente estudo: 807,07 m³/ ano.

No entanto, conforme o trabalho desenvolvido por Maracajá (2013), a pegada hídrica de alimentação, de consumo de bens industrializados e de uso direto da água, para o habitante da região Nordeste, foram de 738 m³/ ano, 33 m³/ ano e 50 m³/ ano, respectivamente, correspondendo, em relação à pegada hídrica total, a 91,6%, 4% e 4,4%. Em comparação com as porcentagens identificadas na microbacia Riacho Fundo (72,6%, 21,6% e 5,8%, respectivamente), percebe-se uma sensível diferença em relação à pegada hídrica de consumo de bens industrializados, que é muito maior para o habitante da microbacia.

Uma vez que a pegada hídrica de consumo de bens industrializados é afetada diretamente pela renda, ou seja, quanto maior a renda, maior o poder de compra, pode-se deduzir que a renda média anual na localidade é maior do que a da região Nordeste. De acordo com IBGE (2010), esta dedução é acertada, já que a renda per capita desta região é de R\$ 4630,00 anuais, ao passo que na microbacia é de R\$ 5837,00.

5.2 Pegada hídrica das categorias alimentares

Analisando a Tabela 3 em relação à pegada hídrica das categorias alimentares, verifica-se que o papel do consumo da carne merece destaque, correspondendo a 42,48% da pegada hídrica de alimentação e a 30,86% da pegada hídrica total.

Isto se dá por existir um grande consumo de carne *per capita* na localidade: 31,72 kg/ ano. Este consumo é muito semelhante ao consumo padrão de carne do brasileiro, constatado por Hoekstra e Mekonnen (2012), que é de 32 kg/ ano. Este valor é alto em comparação com a de outros países, conforme verifica-se na Tabela 4. Além do alto consumo de carne verificado na localidade, a pegada hídrica do consumo deste alimento é influenciada também pelo fato de a pegada hídrica da carne brasileira ser uma das maiores: 19400 m³/ t, acima da média mundial que é de 15400 m³/ t, conforme a mesma tabela.

Tabela 4. Consumo de carne e pegada hídrica da carne em alguns países do mundo

Países	Consumo de carne (kg/ pessoa/ ano)	Pegada hídrica da carne (m ³ / ton)
EUA	43	15500
Brasil	32	19400
México	23	17500
Reino Unido	18	9900
Ucrânia	10	12600
China	5	13700
Bolívia	12	77000
Média mundial	9	15400

Fonte: Adaptado de Hoekstra e Mekonnen (2012)

Como pode ser observado, de forma geral, a carne tem uma alta pegada hídrica. Isto se explica porque seu cálculo é feito baseando-se em toda a alimentação do animal durante toda a sua vida e nos volumes de água consumidos para dessedentação e outras atividades, como as de higiene, conforme ilustrado na Figura 8.

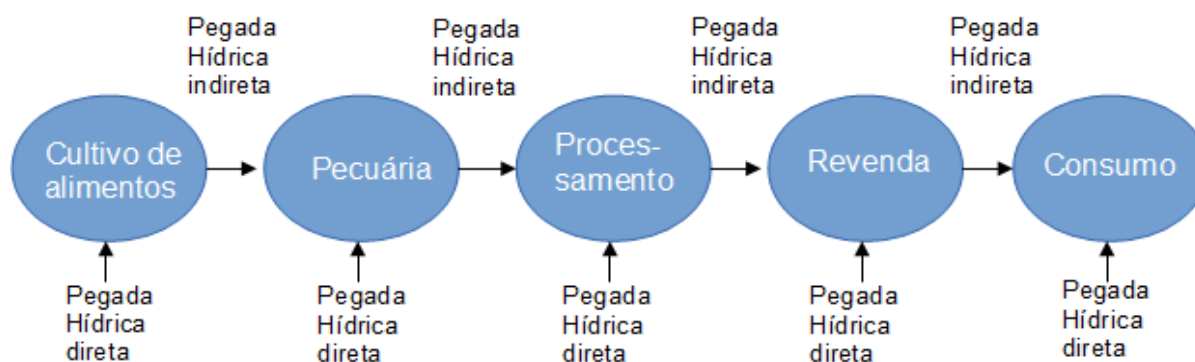


Figura 8. Componentes da pegada hídrica de um animal

Fonte: Adaptado de Hoekstra (2012)

Como cada país tem particularidades desde o cultivo e tipo da alimentação dos animais, passando pela atividade da pecuária, da obtenção e processamento da carne e pela revenda, até o consumidor final, as pegadas hídricas diretas e indiretas de cada atividade e

cada processo são diferentes, o que explica a discrepância da pegada hídrica da carne entre os países observada na Tabela 4.

No tocante à participação das outras categorias alimentares, a pegada hídrica de consumo de estimulantes também se destaca, apenas ficando atrás da pegada hídrica de consumo de carne, como pode ser visualizado na Figura 9.

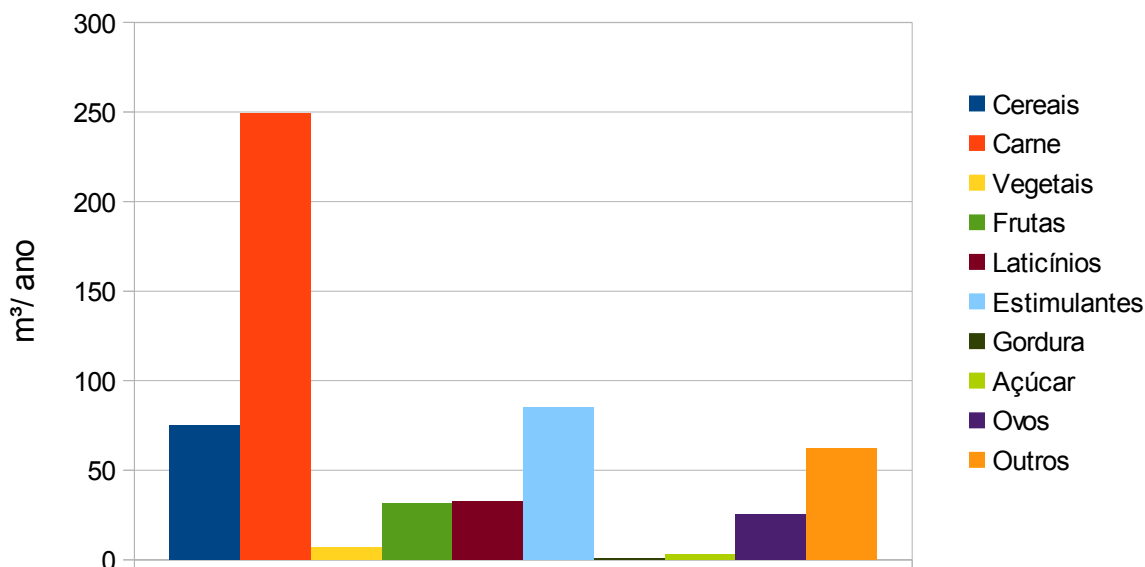


Figura 9. Representatividade das categorias alimentares na pegada hídrica de alimentação

Fonte: Elaboração própria

Um estimulante é uma droga que aumenta a capacidade motora e cognitiva, reforça o estado de atenção e aumenta a euforia do consumidor. Na microbacia, o principal estimulante consumido é a cafeína, uma vez que o consumo de café é alto na localidade, em torno de 14 xícaras por semana, para cada habitante. Além disso, há o consumo de chás, em torno de 3 xícaras por semana por habitante. Entretanto, foi verificado que o chá consumido é, geralmente, proveniente de cultivo caseiro.

Devido à proximidade entre a produção e o consumo, a pegada hídrica dos estimulantes do chá deveria ter pouca participação proporcional em relação à cafeína, pois o café é produzido remotamente e perpassa por muitas etapas até o consumo. No entanto, não há a possibilidade de incorporar esta dimensão espacial do chá na *Water Footprint Extended Calculator*.

Outra categoria alimentar com relevante participação são os cereais, que

correspondem a 13% da pegada hídrica de alimentação. Na localidade, praticamente todos os dias são consumidos cereais, destacando-se o arroz e os derivados do milho, com 94% e 61%, respectivamente, de famílias que consomem estes alimentos diariamente. As massas à base de farinha de trigo, como pão, macarrão e bolo, também são largamente consumidos: 54% dos habitantes da microbacia incluem massa na alimentação diariamente.

5.3 Pegada hídrica e relação com renda, idade, escolaridade e zona de moradia

De posse das informações de pegada hídrica total média de cada uma das famílias (Quadro 1), foi possível cruzá-las com dados socioeconômicos locais. Primeiramente, este cruzamento foi feito com a renda, que é, conforme o *Water Footprint Extended Calculator*, diretamente responsável pelo consumo de bens industrializados. Sendo assim, a hipótese de que, quanto maior a renda, maior a pegada hídrica total, se confirmou na microbacia. As faixas cujas rendas mensais são maiores que R\$ 2160,00, entre R\$ 1081,00 e R\$ 2160,00, entre R\$ 541,00 e R\$ 1081,00, entre R\$ 271,00 e R\$ 540,00 e menores que R\$ 271,00, têm as seguintes pegadas hídricas totais, respectivamente: 989,5; 882,3; 798,2; 671,45 e 632,5 m³/ano. Assim, pode ser visualizado o efeito escada na Figura 10.

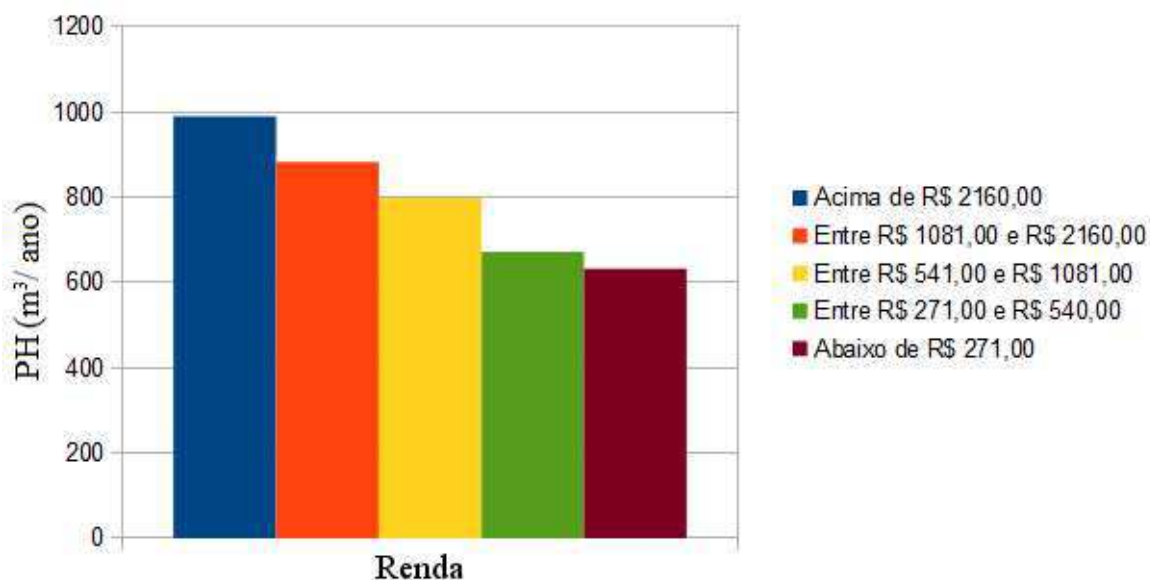


Figura 10. Cruzamento entre pegada hídrica total e faixas de renda

Quanto à origem desta renda, Abreu (2013) identificou que a mesma é 51,2% proveniente de aposentadorias e pensões, 15,1% de programas do governo, 15,1% de

remessas familiares, 12,8% de serviços no comércio e indústria, e 5,8% de trabalhos agrícolas prestados a terceiros.

A renda, de fato, exerce forte influência no cálculo da pegada hídrica, direta e indiretamente. Diretamente porque, como já foi exposto, a renda é exigida no *Water Footprint Extended Calculator* como única entrada de dados para cálculo da pegada hídrica de consumo de bens industrializados. Indiretamente, a renda também influencia a pegada hídrica de consumo de alimentos e a de uso direto da água. Salvo alguma restrição alimentar, normalmente quem tem mais renda consome mais alimentos com alta pegada hídrica, como a carne, cujo preço é muito elevado no Brasil. Além disso, uma renda maior gera um ambiente mais propício ao maior uso direto de água, como banhos maiores e áreas e veículos para serem lavados.

A Figura 11 contém a relação da pegada hídrica com a idade dos moradores da microbacia Riacho Fundo. Na faixa de idade entre 51 e 60 anos foi encontrada a maior pegada hídrica, com 939,5 m³ por ano. O fator renda exerce forte influência, pois é de se supor que a renda média de uma residência cuja maior parte dos moradores tem 18 anos ou menos não é grande, pois geralmente estes não têm renda ou têm baixa renda para contribuir. Já as famílias cuja maioria das pessoas estão na faixa entre 19 e 30 anos e mais de 61 anos têm mais renda que a categoria de 18 anos ou menos, mas menos renda do que as demais faixas.

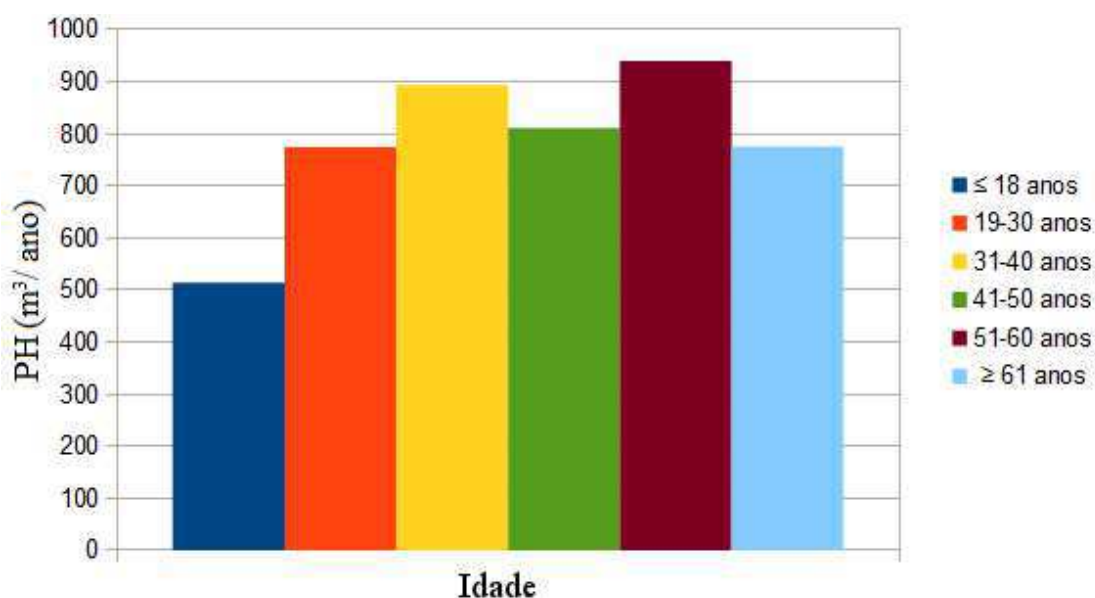


Figura 11. Cruzamento entre pegada hídrica e faixas de idade

Foi realizado também o cruzamento entre pegada hídrica e escolaridade. A menor pegada hídrica encontrada foi a de famílias cuja escolaridade média é superior completo. Entretanto, só foram encontradas duas ocorrências desta categoria. O restante das escolaridades analisadas foi: ensino médio completo, com 764,5 m³/ ano, ensino médio incompleto, com 838,5 m³/ ano, fundamental completo, com 743,92 m³/ ano, fundamental incompleto, com 866,38 m³/ ano e nenhum grau de instrução, que também só foram encontradas duas ocorrências. Como pode ser visualizado na Figura 12, a escolaridade não tem relação com a pegada hídrica na microbacia.

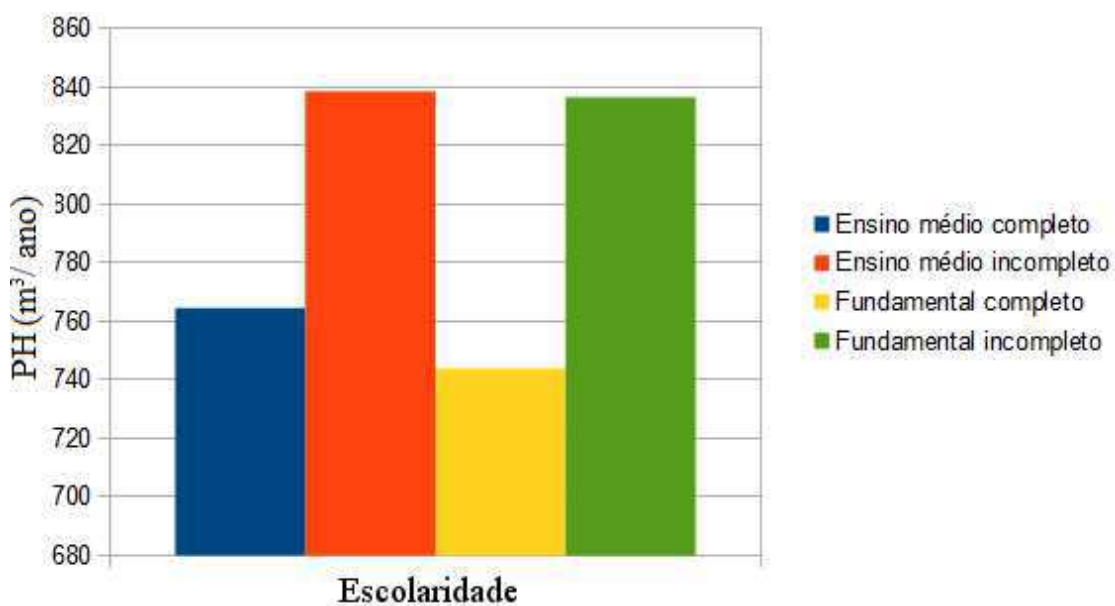


Figura 12. Cruzamento entre pegada hídrica e escolaridade

Foi feito o cruzamento da pegada hídrica com a zona da residência. A metade das 100 famílias pesquisadas reside na zona rural e a outra na zona urbana. As pegadas hídricas obtidas foram muito semelhantes: 809,54 m³/ ano para a zona urbana e 804,6 m³/ ano para a zona rural, indicando que não há nenhuma relação entre estes aspectos com a pegada hídrica. Possivelmente esta pouca variação deve-se ao fato de não haver, na localidade, grande estrutura urbana que favoreça a diferenciação de pegadas hídricas.

5.4 A sub-rotina para cálculo do volume de água utilizado e cenários de reuso

A sub-rotina com a qual foi possível obter o volume total de água utilizada diretamente, internamente e externamente, nas variadas atividades, na microbacia Riacho

Fundo, tem sua interface apresentada na Figura 13.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Sub-rotina para reuso de água interna						
2							
3	Entrada				Variáveis		
4	Uso Interno				Taxa de reuso		
5	Banhos (dia)				Economia no banho		
6	Duração de cada banho (minutos)				Economia na limpeza		
7	Limpeza pessoal (dia)						
8	Lavagens de roupa (semana)						
9	Lavagens de louça (dia)						
10	Duração de cada lavagem (minutos)						
11	Uso Externo				Constantes		
12	Lavagem de carro (semana)				Vazão chuveiro (L/min)		
13					Vazão torneira (L/min)		
14	Irrigação de plantas (semana)						
15	Duração de cada irrigação (minutos)						
16	Lavagens gerais (minutos/ semana)						
17	Saída (litros por semana)						
18	Total em banhos		0	Total em lavagens de veículo			0
19	Total em limpeza pessoal		0				
20	Total em lavagens de roupa		0	Total em irrigação de plantas			0
21	Total em lavagens de louça		0	Total em lavagens gerais			0
22	Total do uso interno						0
23	Total do uso externo						0
24	Total geral						0
25	Correção dos dados de uso externo na Calculadora da Pegada Hídrica						
26					Total da água reusável		0
27	Lavagem de veículo (semana)		0	Sobra de água			0
28	Irrigação de plantas (semana)		0				
29	Duração de cada irrigação (minutos)		0				
30	Lavagens gerais		0				

Figura 13. Interface da subrotina

Para utilização da sub-rotina, o usuário deve introduzir os dados de entrada, na área azul, e as variáveis e constantes, na área amarela. Na entrada, os dados requisitados são exatamente os mesmos exigidos pelo *Water Footprint Extended Calculator* no que se refere ao uso direto de água: número de banhos por dia, a duração de cada banho, número de ações de limpeza pessoal (lavagem de mãos, escovação dental e barbeamento) por dia, número de cargas de roupas a lavar por semana, número de lavagens de louça por dia e duração de cada lavagem, todos estes relativos ao uso interno. Quanto ao uso externo, é necessário introduzir a quantidade de lavagens de veículos por semana, a quantidade de irrigações de plantas por

semana, a duração de cada irrigação, e o tempo de lavagens gerais (casa, calçada, equipamentos, etc.), em minutos por semana.

Nos campos das variáveis, deve-se introduzir a taxa de reúso para a simulação desejada e informar se o usuário pratica ou não economia de água no banho e/ou na limpeza pessoal, tal como é exigido no *Water Footprint Extended Calculator*. Deve-se informar também a vazão do chuveiro e da torneira, em litros por minuto.

Após a introdução destes dados, a ferramenta apresentará a saída, em toda área destacada de verde. Na Tabela 5 estão as informações de saída e suas respectivas fórmulas.

Tabela 5. Fórmulas para desenvolvimento da sub-rotina

Uso de água		Correção dos dados de entrada no <i>Water Footprint Extended Calculator</i>	
Informação	Fórmula	Informação	Fórmula
Total em banhos	=SE(G5="Sim";7*D5*D6*G12/2;7*D5*D6*G12)	Lavagem de veículo	=SE(G26-G23>=0;"0";(1-G26/G23)*D12)
Total em limpeza pessoal	=SE(G6="Sim";D7*2*7/2;D7*2*7)	Irrigação de plantas	=SE(G26-G23>=0;"0";(1-G26/G23)*D14)
Total em lavagens de roupas	=D8*60	Duração de cada irrigação	=SE(D28>0;D15*D28/D14;"0")
Total em lavagens de louça	=SE(G6="Sim";7*D9*D10*G13/2;7*D9*D10*G13)	Lavagens gerais	=SE(G26-G23>=0;"0";(1-G26/G23)*D16)
Total em lavagens de veículos	=D12*100		
Total em irrigação de plantas	=D14*D15*G13		
Total em lavagens gerais	=D16*G13		
Total do uso interno	=D18+D19+D20+D21		
Total do uso externo	=G18+G19+G20+G21		
Total geral	=G22+G23		

Para exemplificar o uso da ferramenta, escolheu-se a primeira das 100 (cem) residências pesquisadas, cujos dados são mostrados na Tabela 6.

Tabela 6. Dados coletados em uma residência

Consumo de alimentos			
Dado	Valor		
Cereais	1,1	Duração de cada banho	20
Carne	0,9	Chuveiro padrão ou baixo fluxo	Padrão
Laticínios	0,7	Limpeza pessoal	5
Ovos	5	Desperdício de água na limpeza pessoal	Não
Teor de gordura	Médio	Cargas de roupas a lavar	1
Teor de açúcar	Baixo	Lavagens de louça	2
Vegetais	0,7	Duração das lavagens de louça	6,25
Frutas	1,26	Uso externo da água	
Raizes	0,77	Dado	Valor
Café	2	Lavagem de veículos	1,33
Chá	0,43	Irrigações de plantas	4
		Duração de cada irrigação	15
		Tempo de lavagens gerais	30
Uso interno da água		Consumo de bens industrializados	
Dado	Valor	Dado	Valor
Banhos por dia	2	Renda anual	3240

Após estes dados serem introduzidos no *Water Footprint Extended Calculator*, foram obtidas as seguintes informações, em m³/ ano: Pegada hídrica total = 1123; Alimentação = 779; Uso doméstico = 284; Consumo de bens industrializados = 60; Cereais = 92; Carne = 363; Vegetais = 9; Frutas = 42; Laticínios = 36; Estimulantes = 86; Gordura = 1; Açúcar = 3; Ovos = 43; Outros = 87.

Posteriormente, foram introduzidos os dados referentes a uso direto de água na sub-rotina. Depois foi informada a taxa de reúso, que neste exemplo é de 30%. Quanto à economia de água no banho, introduz-se a palavra "Não", uma vez que o chuveiro é do tipo padrão e não de baixo fluxo (Tabela 6). Como a família em questão não faz as atividades de limpeza pessoal com a torneira aberta continuamente, há a economia de água na limpeza (Tabela 6). Portanto, introduz-se a palavra "Sim" no referido campo, conforme a Figura 14. As vazões dos chuveiros e das torneiras inseridas na ferramenta foram de 4 litros por minuto.

Sub-rotina para reuso de água interna			
Entrada		Variáveis	
Uso Interno		Taxa de reuso	0,3
Banhos (dia)	2	Economia no banho	Não
Duração de cada banho (minutos)	20	Economia na limpeza	Sim
Limpeza pessoal (dia)	5		
Lavagens de roupa (semana)	1		
Lavagens de louça (dia)	2		
Duração de cada lavagem (minutos)	6,25		
Uso Externo		Constantes	
Lavagem de carro (semana)	1,33	Vazão chuveiro (L/min)	4
		Vazão torneira (L/min)	4
Irrigação de plantas (semana)	4		
Duração de cada irrigação (minutos)	15		
Lavagens gerais (minutos/ semana)	30		
Saída (litros por semana)			
Total em banhos	1120	Total em lavagens de veículo	133
Total em limpeza pessoal	35		
Total em lavagens de roupa	60	Total em irrigação de plantas	240
Total em lavagens de louça	175	Total em lavagens gerais	120
Total do uso interno		1390	
Total do uso externo		493	
Total geral		1883	
Correção dos dados de uso externo na Calculadora da Pegada Hídrica			
		Total da água reusável	417
Lavagem de veículo (semana)	0,21	Sobra de água	0
Irrigação de plantas (semana)	0,62		
Duração de cada irrigação (minutos)	2,31		
Lavagens gerais	4,62		

Figura 14. Saída da sub-rotina

Desta forma, a ferramenta apresenta os volumes de água das atividades de uso interno e externo, assim como os dados de uso externo de água corrigidos conforme a taxa de reúso. Ao reinserí-los no *Water Footprint Extended Calculator*, juntamente com os dados originais de consumo de alimentos, uso interno de água e consumo de bens industrializados (Tabela 6), são obtidas as seguintes informações, em m³/ ano: Pegada hídrica total = 1080; Alimentação = 779; Uso doméstico = 240; Consumo de bens industrializados = 60; Cereais = 92; Carne = 363; Vegetais = 9; Frutas = 42; Laticínios = 36; Estimulantes = 86; Gordura = 1; Açúcar = 3; Ovos = 43; Outros = 87. As diminuições da pegada hídrica total e de uso doméstico (3,83% e 15,5%, respectivamente) correspondem exatamente ao impacto da reutilização de 30% da água do ambiente interno no externo na pegada hídrica pessoal.

Com uma taxa de reúso de 50%, a sub-rotina retorna as informações referentes à

correção dos dados de uso externo no *Water Footprint Extended Calculator* apresentadas na Figura 15, além daquelas referentes ao uso interno e externo da água, que não têm relação com a simulação de reúso e, portanto, são as mesmas mostradas na Figura 14.

Correção dos dados de uso externo na Calculadora da Pegada Hídrica			
		Total da água reusável	695
Lavagem de veículo (semana)	0	Sobra de água	202
Irrigação de plantas (semana)	0		
Duração de cada irrigação (minutos)	0		
Lavagens gerais	0		

Figura 15. Correção dos dados de uso externo para 50% de reúso

Com uma taxa de reúso de 50%, a pegada hídrica total é de 1076 m³/ano e a de uso doméstico é de 236 m³/ano, equivalendo a 4,19% e 16,9% de diminuição, respectivamente. Para as taxas de reúso de 80% e 100%, estes valores se repetem. Este fato pode ser explicado porque a família em questão utiliza, internamente, 1390 litros de água por semana e, externamente, 493 litros de água por semana. Assim, reutilizando-se 50% da água de uso interno, ou seja, a metade, são 695 litros por semana, volume maior do que todo o uso externo da família. Desta forma, compreende-se que a família pode fazer uso de água reutilizada para todas as atividades externas e ainda sobram 202 litros por semana. Portanto, os dados de uso externo a serem reinseridos no *Water Footprint Extended Calculator*, com a taxa de reúso de 50%, são todos iguais a 0 (zero) e não há mais possibilidade de diminuição da pegada hídrica com taxas de reúso maiores, alterando-se apenas a sobra de água, que é de 619 litros por semana para a taxa de 80% e 897 litros por semana para a taxa de 100%, conforme as Figuras 16 e 17.

Correção dos dados de uso externo na Calculadora da Pegada Hídrica			
		Total da água reusável	1112
Lavagem de veículo (semana)	0	Sobra de água	619
Irrigação de plantas (semana)	0		
Duração de cada irrigação (minutos)	0		
Lavagens gerais	0		

Figura 16. Correção dos dados de uso externo para 80% de reúso

Correção dos dados de uso externo na Calculadora da Pegada Hídrica			
		Total da água reusável	1390
Lavagem de veículo (semana)	0	Sobra de água	897
Irrigação de plantas (semana)	0		
Duração de cada irrigação (minutos)	0		
Lavagens gerais	0		

Figura 17. Correção dos dados de uso externo para 100% de reúso

Tal situação não ocorreu com a taxa utilizada no exemplo, pois 30% de 1390 litros são 417 litros, que é um volume menor do que os 493 litros utilizados externamente. Assim, mesmo reutilizando água, neste cenário a família ainda necessita de uma pequena quantidade de água proveniente do ambiente para os afazeres externos. Esta pequena quantidade corresponde, portanto, aos novos dados de uso externo de água a serem reinseridos no *Water Footprint Extended Calculator*.

5.5 Uso direto da água na microbacia Riacho Fundo

Após serem inseridos os dados correspondentes a uso de água na sub-rotina, foram obtidas as informações de volume de uso direto de água das 100 residências, conforme o Quadro 2. Quanto à origem desta água utilizada diretamente, Abreu (2013) constatou que 83% é proveniente da rede pública, enquanto as cisternas fornecem 14% e o restante, 3%, vem de açudes, rios e barragem. Conforme o mesmo autor, a água que abastece a rede pública, no entanto, é oriunda de alguns poços artesianos perfurados na localidade e bombeados para uma caixa d'água central e, por gravidade, é distribuída entre os domicílios.

É importante ressaltar que estes valores são individuais e referentes à média de cada residência, pois na aplicação das questões ao chefe de família houve a orientação para que ele se baseasse numa média da sua família.

Ao serem somados os valores dos volumes totais de uso interno e externo, o maior valor encontrado foi de 2296 litros/ semana, de acordo com o Quadro 2. Nesta residência também foi identificado o maior gasto de água com banhos, que é de 1400 litros/ semana, correspondendo a 77,3% de todo o uso interno de água, que é de 1810 litros/ semana, e 61% de todo o uso direto de água. Isto se deve ao fato de, nesta residência, a atividade banho ser realizada duas vezes diariamente, com 25 minutos de duração cada. Esta duração dos banhos

Quadro 2. Volume dos usos diretos de água nas 100 famílias da microbacia Riacho Fundo, em m³/ ano

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50		
Uso doméstico interno																																																				
Total em banhos	1120	280	280	280	840	280	420	140	210	280	140	560	140	280	280	1400	280	140	840	280	140	420	140	420	70	140	1050	140	280	280	280	420	420	420	1400	140	280	280	280	70	1120	560	420	1400	140	700	140	210	280			
Total em limpeza pessoal	35	84	42	84	35	56	28	42	35	98	42	56	70	84	98	56	70	28	84	84	28	28	42	42	42	42	42	42	56	28	28	56	56	84	56	84	56	84	42	28	42	42	49	98	42	84	28	70	98	84		
Total em lavagens de roupa	60	60	120	180	60	60	120	120	120	60	60	60	120	60	60	120	180	60	60	60	60	60	60	120	120	120	60	60	60	60	60	120	60	120	60	60	60	180	180	180	60	60	120	60	120	60	120	60	120			
Total em lavagens de louça	175	280	350	350	70	280	140	210	112	307	350	233	140	280	210	224	140	140	280	466	140	420	210	140	140	700	93,2	140	210	280	280	420	280	560	210	210	224	117	93,2	105	560	350	210	280	140	186	140	420	280	186		
Total	1390	704	792	894	1005	676	708	512	477	745	592	909	470	704	648	680	1790	508	564	1450	508	648	732	452	722	932	395	1292	466	648	648	816	876	1124	806	1754	480	541	595	593	852	1572	879	918	1642	530	928	750	648	670		
Uso doméstico externo																																																				
Total em lavagens de veículo	133	33	33	33	33	33	0	100	100	33	100	133	33	0	0	133	0	33	100	133	0	100	0	100	33	100	33	100	100	133	133	133	0	0	0	0	33	0	33	33	100	0	166	0	0	100	100	0	100	33		
Total em irrigação de plantas	240	180	120	120	0	0	60	120	0	0	0	180	200	480	300	200	120	200	120	120	0	80	240	0	0	0	0	0	120	60	60	160	40	120	120	120	120	200	120	120	160	200	100	80	80	120	0	0	40			
Total em lavagens gerais	120	120	80	80	120	120	140	120	20	20	20	100	140	0	140	160	160	0	120	120	0	80	160	20	20	20	20	20	20	120	120	120	80	80	80	80	120	0	120	120	80	120	120	160	120	160	160	80	80	120		
Total	493	333	233	233	153	153	200	340	120	53	120	413	373	480	440	493	280	233	340	373	0	260	400	120	53	120	53	120	120	373	313	313	240	120	200	200	273	120	353	273	300	280	486	260	200	340	380	80	180	193		
TOTAL GERAL	1883	1037	1025	1127	1158	829	908	852	597	798	712	1322	843	1184	1088	1173	2070	741	904	1823	508	908	1132	572	775	1052	448	1412	586	1021	961	1129	1116	1244	1006	1954	753	661	948	866	1152	1852	1365	1178	1842	870	1308	830	828	863		
	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100		
Uso doméstico interno																																																				
Total em banhos	840	280	420	210	280	210	280	1260	840	210	280	140	70	1260	280	280	560	280	280	420	840	420	280	280	560	280	140	210	280	1120	280	140	140	280	840	280	1400	280	700	1050	280	140	420	280	210	280	560	840	70	840		
Total em limpeza pessoal	28	56	28	84	56	98	84	56	56	56	56	98	56	56	42	42	84	35	56	98	84	56	56	56	70	28	84	84	28	28	42	56	70	84	98	56	70	28	84	84	28	28	42	84	42	28	28	42	56	84		
Total em lavagens de roupa	60	60	60	120	60	60	60	60	60	120	60	120	60	120	60	120	60	60	60	60	60	60	60	60	60	120	60	60	60	60	120	60	120	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	120	120
Total em lavagens de louça	350	210	140	93,2	280	700	280	280	280	280	560	140	280	187	140	140	280	112	280	420	280	84	280	112	168	87,5	186	140	93,2	280	280	374	280	280	280	224	280	140	140	186	93,2	700	350	186	233	93,2	700	140	280	140		
Total	1278	606	648	507	676	1068	704	1656	1236	666	956	498	466	1623	522	582	984	487	676	998	1264	620	676	508	858	516	470	494	461	1488	662	690	550	764	1278	620	1810	508	984	1380	461	988	872	610	545	461	1348	1082	526	1184		
Uso doméstico externo																																																				
Total em lavagens de veículo	0	33	100	100	0	100	0	133	0	100	0	100	100	33	0	0	100	0	0	0	33	0	33	33	100	0	100	100	33	133	0	0	0	33	33	0	166	0	100	100	0	100	0	0	100	33	100	0	100	100		
Total em irrigação de plantas	60	0	0	100	60	120	120	180	160	120	120	80	100	100	180	0	160	60	120	60	0	160	0	0	120	240	80	40	0	60	0	0	60	160	0	180	180	160	180	120	0	80	200	60	60	0	60	0	60	60		
Total em lavagens gerais	120	20	20	20	140	140	160	160	100	120	120	120	160	120	80	160	120	120	140	100	140	120	120	160	100	120	100	100	20	100	20	20	140	140	140	140	140	140	120	100	160	20	80	140	120	120	20	120	20	100	140	
Total	180	53	120	220	200	360	280	473	260	340	240	300	360	253	260	160	380	180	260	160	173	280	153	193	320	360	280	240	53	293	20	20	200	333	173	320	486	280	380	380	20	260	340	180	280	53	280	20	260	300		
TOTAL GERAL	1458	659	768	727	876	1428	984	2129	1496	1006	1196	798	826	1876	782	742	1364	667	936	1158	1437	900	829	701	1178	876	750	734	514	1781	682	710	750	1097	1451	940	2296	788	1364	1760	481	1248	1212	790	826	514	1628	1102	786	1484		

é muito superior à média da microbacia, que é de 9 minutos. Além disso, nesta família não há o hábito de fechar o chuveiro durante a etapa de ensaboamento. Desta forma, com uma vazão de 4 litros/ minuto, a atividade banho consome 1400 litros de água semanalmente por pessoa.

No tocante à toda a microbacia, a atividade banho é de fato a maior responsável pelo uso direto de água na localidade. Foi identificado que, em 11% das residências pesquisadas, esta atividade utiliza mais de 1000 litros de água semanalmente, o que é uma porcentagem muito alta, tendo em vista que em 74% das residências este valor é menor que a média de 432 litros/ semana. Conforme a Tabela 7, que apresenta a média dos valores encontrados nas 100 residências, é possível constatar que os banhos correspondem a 52,6% do uso interno e 40,5% de todo o uso direto de água na microbacia.

Tabela 7. Média de uso de água interno e externo da amostra pesquisada

Uso Interno (litros/ semana)		Uso externo (litros/ semana)	
Banhos	432,6	Lavagem de veículos	52,88
Limpeza pessoal	57,47	Irrigação de plantas	94,4
Lavagens de roupa	81,6	Lavagens gerais	98,2
Lavagens de louça	249,87		
TOTAL	821,54	TOTAL	245,48
TOTAL GERAL	1067,02		

Este fato é bastante surpreendente, visto que a localidade se encontra em pleno semiárido nordestino. Na coleta de dados entre as famílias, na questão referente a duração do banho, 8% pratica esta atividade com mais de 20 minutos de duração, sinalizando que o banho é considerado não só como uma atividade de limpeza, mas também de lazer. Outra atividade com grande participação no uso de água é a lavagem de louça, correspondendo a 30% do uso interno e 23% de todo o uso direto de água. Estas duas atividades podem ter uma grande redução no uso de água pelo simples fato de fechar a torneira enquanto se ensaboa o corpo e a louça. No entanto, esta prática encontra poucos adeptos na localidade, conforme a Tabela 8.

Tabela 8. Famílias que economizam água no banho e na lavagem de louça

Economia no banho		Economia na lavagem de louça	
Sim	30%	Sim	29%
Não	70%	Não	71%

Para a atividade lavagem de louça, o volume máximo identificado foi de 700 litros por semana, em 4% das famílias. Este volume é muito maior que a média do uso de água desta atividade na microbacia, que é de 250 litros por semana. Ainda sobre esta atividade, contata-se que 54% das residências apresentam uso de água inferior a esta média. As demais atividades, que são de limpeza pessoal e lavagem de roupa, correspondem a 7% e 10% do uso interno e 5,3% e 7,6% do uso total de água, respectivamente.

Na Figura 18 ilustra-se a representatividade da média destas atividades diante da média do total do uso interno.

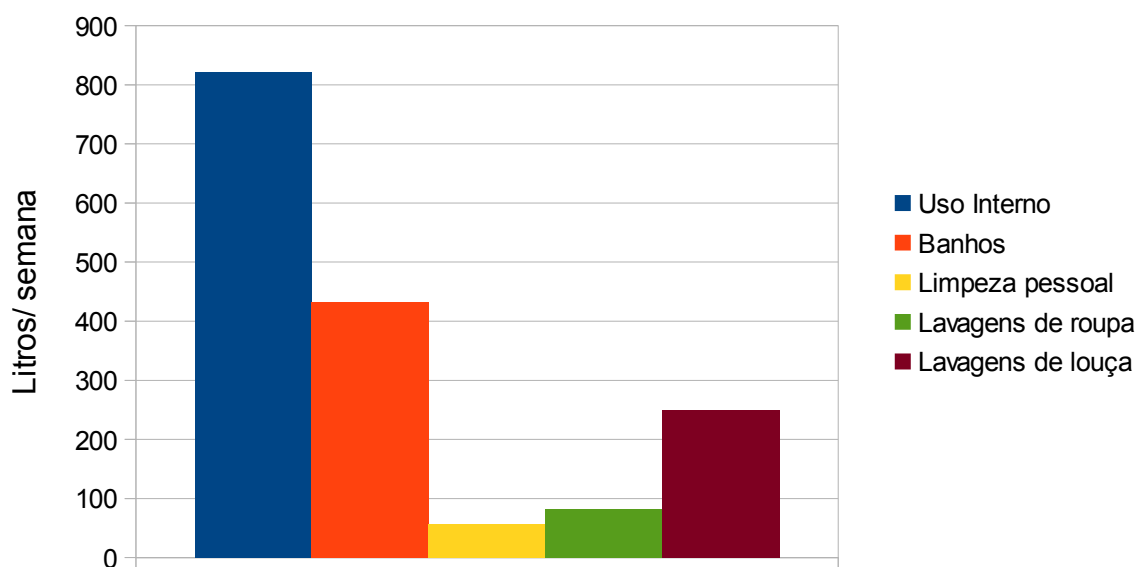


Figura 18. Representatividade das atividades de uso interno

Ainda conforme a Tabela 7, constata-se que a soma dos volumes de água utilizados internamente é de 82154 litros por semana, correspondendo a 77% de todo o uso direto de água. Por sua vez, o uso externo totaliza 24548 litros por semana, correspondendo a 23% do uso direto de água. A participação das médias dos dois tipos de uso de água, diante da média

do total de uso direto, pode ser visualizada na Figura 19.

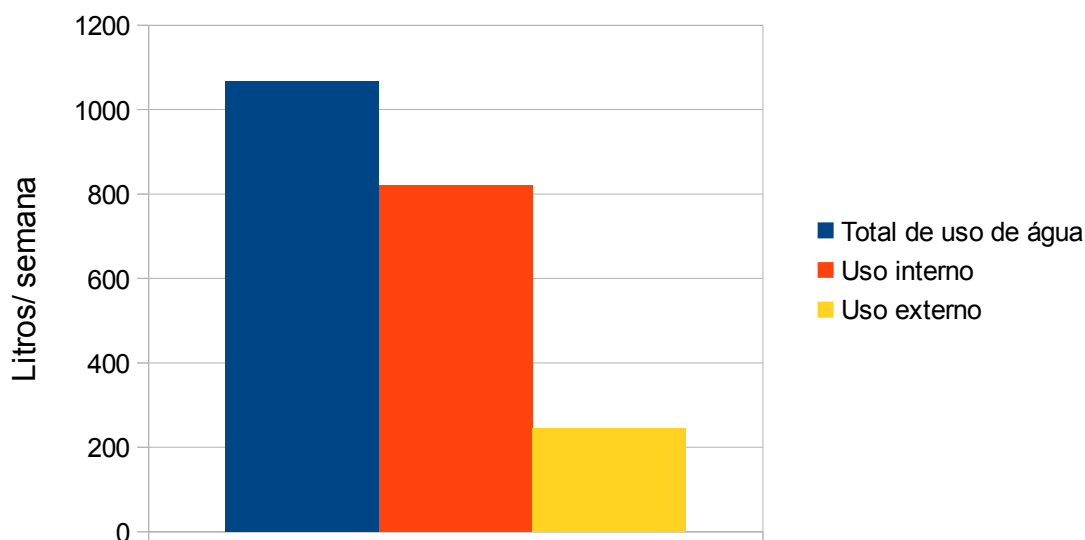


Figura 19. Representatividade dos usos interno e externo

Entre as atividades de uso externo de água, a lavagem de veículos é a que tem menor participação no uso de água externa, correspondendo a 21,5% do total do uso externo de água e 5% de todo o uso direto de água. Entre as famílias pesquisadas, 36% respondeu que não lava nenhum veículo, seja por não possuir um ou pelo fato dos veículos se sujarem com facilidade na localidade, como foi reportado por alguns, não compensando executar esta atividade com frequência. Os que responderam que lavam carro são 41% e os que lavam motocicleta, 34%, conforme a Tabela 9. Por sua vez, as irrigações e lavagens gerais semanais são atividades que possuem mais praticantes, com 73% e 96%, respectivamente.

Tabela 9. Entrevistados e os usos externos de água

Lavagens de veículos por semana		Irrigações por semana		Lavagens gerais por semana	
Não lavam	36	Não irrigam	27	Não lavam	4
Lavam moto	23	Irrigam	73	Lavam	96
Lavam carro	30				
Lavam moto e carro	11				

A atividade externa que demanda mais água é a de lavagens gerais, correspondendo a 40% do uso externo e 9,2% de todo o uso direto de água, conforme a Tabela 7. O volume mais alto para esta atividade encontrado no Quadro 2 foi de 160 litros por semana, em 12% das residências. Em relação à média, que é de 98,2 litros por semana, este volume pode ser considerado alto. Além da lavagem de equipamentos, pode-se citar a lavagem de calçadas, atividade muito praticada na região, como evidencia a fotografia obtida na localidade (Figura 20).



Figura 20. Fotografia de lavagem de calçada de uma residência

Depois das lavagens gerais, a atividade externa que mais utiliza água é a irrigação de plantas, correspondendo a 38,4% da água utilizada externamente e 8,9% de todo o uso direto de água. Conforme a Tabela 9, a irrigação de plantas é praticada pela maioria das residências, como evidencia as fotografias na Figura 21.



Figura 21. Fotografias de irrigação de plantas

Diante das informações sobre o uso de água nas atividades externas, é possível visualizar, na Figura 22, a participação da média de cada uma diante da média do total de água utilizada externamente.

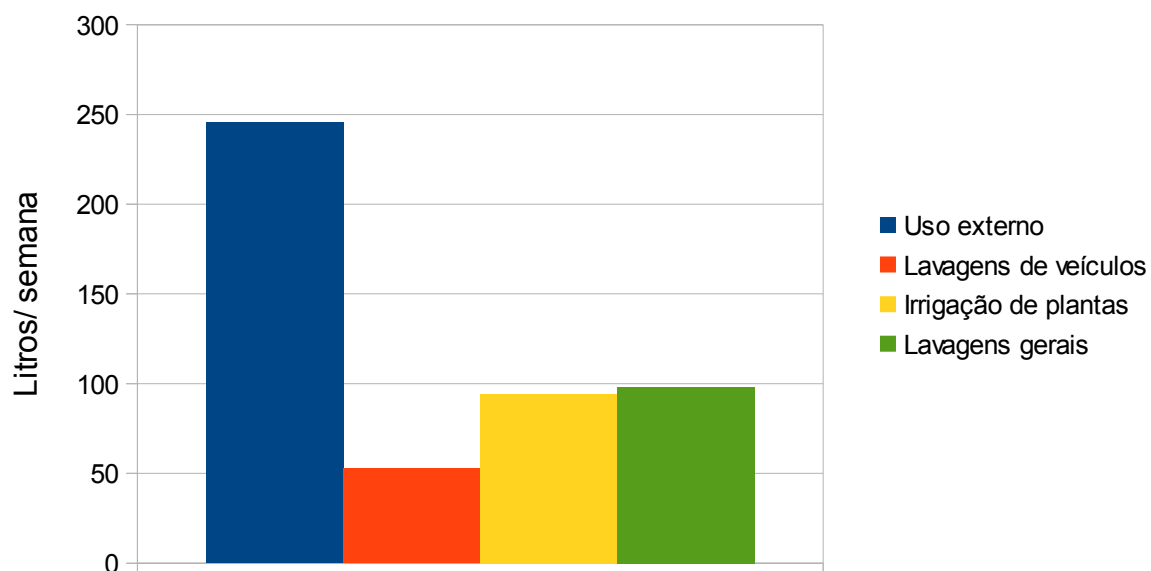


Figura 22. Representatividade das atividades de uso externo de água

5.6 Simulações de reúso

Os resultados das simulações de reúso obtidos por meio da *Water Footprint Extended Calculator* com os dados de uso externo de água corrigidos pela sub-rotina, conforme o cenário de reúso desejado, são exibidos no Quadro 3. Para cada cenário (30%, 50%, 80% e 100%), são apresentadas as informações descritas na Tabela 10.

Tabela 10. Descrição das informações apresentadas no Quadro 3

Informação	Descrição
PH total	Pegada hídrica total média da residência (m ³ / ano)
PH de uso doméstico	Pegada hídrica de uso doméstico média da residência (m ³ / ano)
Total reusado	Volume total de água reusado (litros/ semana)
Sobra	Sobra total de água (litros/ semana)
% da PH total (sem reúso)	Diminuição percentual em relação à pegada hídrica total original, ou seja, sem reúso de água
% da PH de uso doméstico (sem reúso)	Diminuição percentual em relação à pegada hídrica de uso doméstico original, ou seja, sem reúso de água

Com estas informações, foi possível obter as médias das simulações, apresentadas na Tabela 11.

Tabela 11. Média das simulações na microbacia

Simulação	PH total	PH de uso doméstico	Total reusado (Litros por semana)	Sobra (Litros por semana)	% da PH total sem reúso	% da PH de uso doméstico sem reúso
30%	784,63	152,37	246,46	58	2,78	12,58
50%	781,23	148,07	410,77	177,54	3,25	15,67
80%	780,38	147,28	657,23	411,75	3,37	16,27
100%	780,38	147,28	821,54	576	3,37	16,27

Reutilizando-se 30% da água proveniente do uso interno no uso externo, 47% das famílias não teriam qualquer sobra de água, pois esta taxa seria insuficiente para suprir a demanda externa para essas famílias. Entretanto, para o restante, 53%, esta taxa, além de ser suficiente, faz sobrar água. A maior diminuição de pegada hídrica total identificada foi de 13,31%, muito acima da média de diminuição para este cenário, que é de 2,78%, conforme a Tabela 11.

Para este fato, cabem as seguintes explicações (não mutuamente excludentes): ou a pegada hídrica total desta família é muito baixa, fazendo com que a diminuição proporcionada pelo reúso seja muito representativa percentualmente, ou a família faz uso intenso de água diretamente, inclusive em atividades externas.

Analisando-se os Quadros 1 e 2, constata-se que a segunda explicação é a verdadeira. A pegada hídrica total nesta família é de 1087 m³/ano, acima da média da região. Já o volume de água utilizada diretamente é grande: 1468 litros/ semana, sendo 360 litros/ semana utilizados externamente. A porcentagem da pegada hídrica de uso direto de água em relação à pegada hídrica total é mais uma evidência do intenso uso direto de água: 22,8%, o que é muito

maior que a média da região que é de 5,8%.

Ainda conforme a Tabela 11, constata-se que, no tocante à média da microbacia, esta taxa de reúso é suficiente para suprir a demanda de todas as atividades externas, gerando, porém, pouca sobra de água: 58 litros por semana. No que se refere à diminuição da pegada hídrica total e de uso doméstico em relação às originais, os valores são de 2,78% e 12,58%, respectivamente.

Reutilizando-se 50% de água proveniente do uso interno no externo, as famílias que não conseguiriam suprir a demanda externa e, assim, não teriam qualquer sobra de água, diminui para 20%. Ou seja, 80% das famílias teriam sobra de água se reutilizassem 50% da água no uso externo, o que faz a sobra média na localidade ser de 177,54 litros por família/semana. Neste cenário, conforme a Tabela 11, as porcentagens de diminuição das pegadas hídricas total e de uso doméstico originais são de 3,25% e 16,67%, respectivamente, sofrendo assim um considerável aumento em relação ao cenário com taxa de 30%.

Neste cenário de reúso, o maior valor de diminuição da pegada hídrica original foi de 15,5%, na mesma residência discutida no item 5.6.1. Esta pouca variação em relação à diminuição com 30% de reúso (13,31%) pode ser explicada porque o total de água reusada no cenário de 30% é de 320 litros/ semana. Como o total de água utilizada externamente na residência é de 360 litros/ semana, faltam apenas 40 litros/ semana para que sobre água e, portanto, não haja mais possibilidade de aumento nesta porcentagem de diminuição da pegada hídrica original com taxas de reúso maiores. No cenário de 50% de reúso, há uma sobra de 174 litros/ semana para o caso analisado.

No tocante ao cenário de 80%, a diminuição percentual média da pegada hídrica original é de 3,37% para a pegada hídrica total e 16,27% para a pegada hídrica de uso doméstico, conforme a Tabela 11. Ou seja, há uma diferença de 0,12% e 0,6%, respectivamente, em relação ao cenário com taxa de 50%. Esta diferença é pequena porque, no cenário com taxa de 50% de reúso, 80 famílias têm sobra de água e, assim, os dados de entrada no *Water Footprint Extended Calculator* corrigidos pela sub-rotina são iguais a zero. Portanto, apenas 20 famílias sofreram alteração na sua pegada hídrica com o cenário de 80%, resultando na pequena diferença percebida em relação ao cenário de 50%.

No cenário de 80%, todas as 100 famílias teriam sobra de água. Portanto os dados corrigidos pela sub-rotina para reinserção no *Water Footprint Extended Calculator* de todas as 100 famílias são iguais a zero. Desta forma, não há nenhuma possibilidade de diminuição da

pegada hídrica com taxas maiores de reúso. Sendo assim, as porcentagens de diminuição da pegada hídrica não sofrem alteração no cenário de 100%. Entretanto, neste cenário há, obviamente, a maior sobra de água: 576 litros/ semana (Tabela 11).

Diante das médias das porcentagens de diminuição da pegada hídrica original dos cenários analisados, é possível compará-las por meio da visualização da Figura 23.

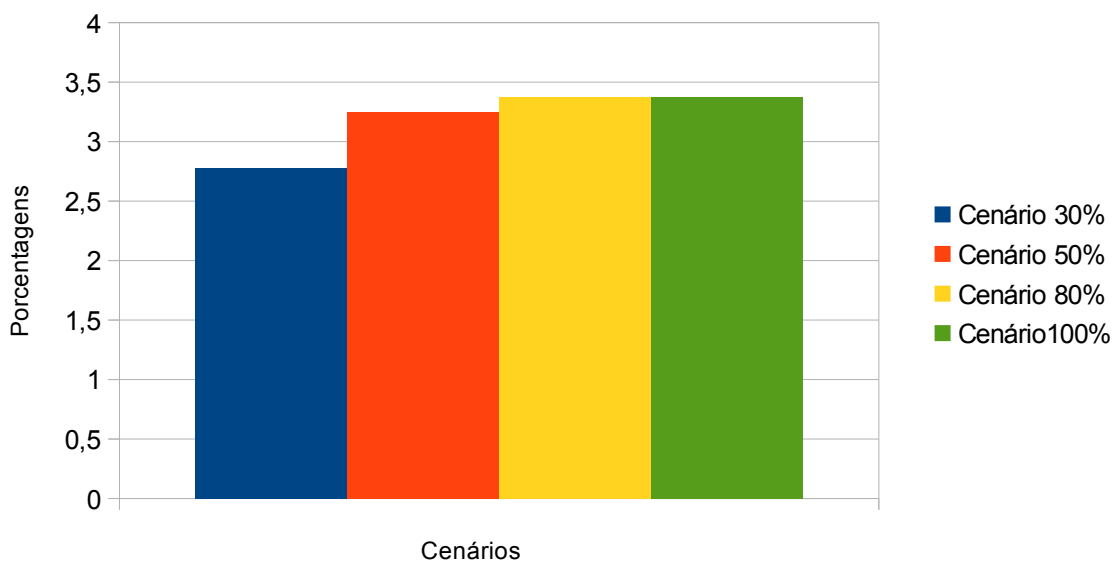


Figura 23. Diminuição da pegada hídrica dos cenários de reúso

Verifica-se na Figura 23 que há uma maior diferença entre a porcentagem de diminuição proporcionada pelo cenário de 50% de reúso em relação ao de 30% do que entre os cenários de 80% e 100% em relação ao de 50%. Isto acontece porque à medida em que se aumenta a taxa de reúso, mais residências vão apresentando sobra de água, não possibilitando mais a diminuição das suas pegadas hídricas. Desta forma, o aumento da taxa de reúso é diretamente proporcional ao aumento de sobra de água, conforme a Figura 24.

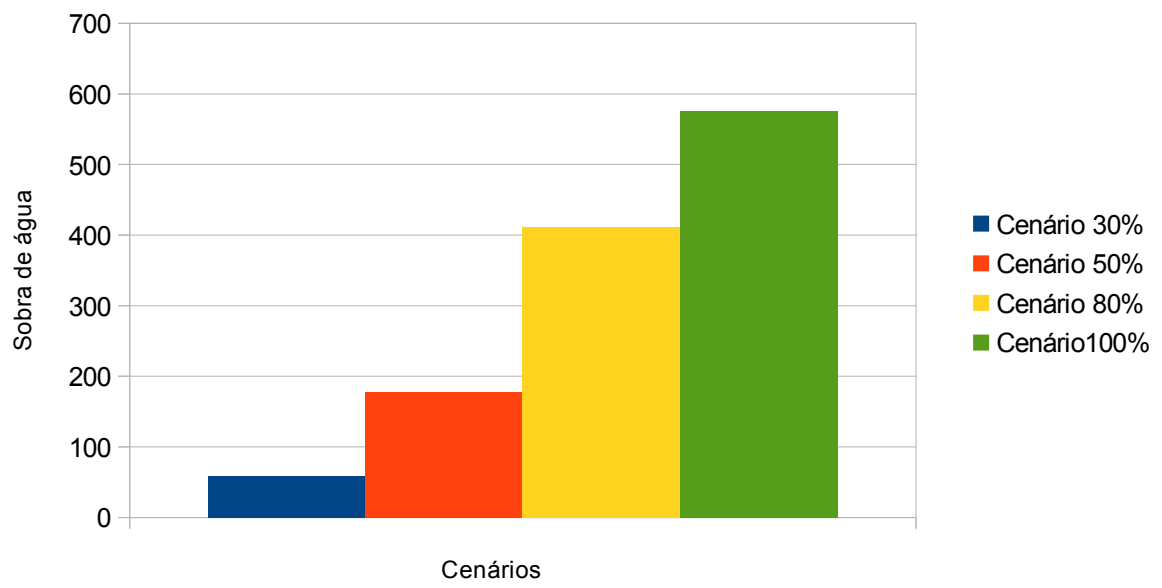


Figura 24. Sobra de água dos cenários de reúso

6. CONCLUSÃO

Na microbacia estudada, a pegada hídrica total é de 807,07 m³/ ano por pessoa. Dentro desta pegada hídrica, merece destaque a de alimentação, que é de 586 m³/ ano por pessoa. Isto indica a forte participação desta componente na pegada hídrica total, sugerindo que qualquer política ou linha de ação que vise reduzir este indicador tem que focar na alimentação, principalmente no consumo da carne, que corresponde a 30,86% da pegada hídrica por pessoa. Desta forma, é urgente uma reflexão global concernente ao consumo de carne e de uma mobilização social e política quanto a adoção de medidas que diminuam a pegada hídrica da carne para consumo.

A avaliação da pegada hídrica consuntiva da microbacia Riacho Fundo também demonstra a forte participação da renda na determinação deste indicador, cuja média é maior na localidade do que na região Nordeste. Esta diferença se deve principalmente à renda, como ficou evidenciado no estudo. No tocante à relação com indicadores sociais, não foi encontrada conexão de zona de moradia e grau de instrução com a pegada hídrica, mas a relação com a idade sugeriu também uma atuação indireta da renda.

Ficou evidenciado que, na microbacia Riacho Fundo, o uso direto da água representa a menor participação dos componentes na pegada hídrica total, com 47,26 m³/ ano por pessoa. Entretanto, este aspecto deve ser inserido em estratégias para sustentabilidade dos recursos hídricos locais, como sugerem os valores encontrados de uso direto de água por meio da sub-rotina desenvolvida.

Neste contexto, reusar água é uma ação coerente com estas estratégias, como provam as informações obtidas por este estudo, cujos cenários de reúso de água avaliados, que foram de 30%, 50%, 80% e 100%, proporcionaram diminuições, na pegada hídrica total, de 2,78%, 3,25%, 3,37% e 3,37%, respectivamente.

Estas informações, apesar de relevantes, não traduzem todo o potencial da sub-rotina criada para estas simulações, porque esta pode ser utilizada em outras realidades de uso de água e apresentar diminuições mais ou menos significativas. Esta sub-rotina, concebida no estudo, pode vir a ser o embrião de ferramentas mais poderosas que integrem ainda mais a pegada hídrica e o reúso de água doméstica, contribuindo com estudos que tornem os cálculos mais precisos e específicos. Há a possibilidade, por exemplo, de simular a aplicação da sobra

de água para irrigar culturas, debitando os alimentos consumidos gerados por estas culturas dos dados de entrada de alimentação no *Water Footprint Extended Calculator*, diminuindo ainda mais a pegada hídrica.

Por fim, o presente estudo buscou contribuir com a produção de informações que visam economia de recursos naturais, já que dados quantitativos são necessários para permitir comparações e eventuais tomadas de decisões políticas que definam padrões, metas e formas de gestão da água que incentivem a produção sustentável do ponto de vista do uso dos recursos hídricos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, B. S de. **Socioeconomia local com índices de felicidade e percepção ambiental: um estudo de caso no distrito da Ribeira - Cabaceiras (PB)**. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, 2013.
- ALDAYA, M. M; HOEKSTA, A. Y. **The water needed for italians to eat pasta and pizza**. *Agricultural Systems* 103, 351–360, 2010.
- ANA – Agência Nacional de Águas. **Utilizações da água**. Disponível em <http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/CatalogoPublicacoes_2007.asp> Brasília, 2007.
- AQUIM, P. M; SOARES, M. G; TRIERWEILER, J. O. **Assessment of water management in tanneries : State of Rio Grande do Sul case study**. LUME – Repositório digital UFRGS, 2009.
- ASANO, T., BURTON, F. L., LAVERENZ, H. L., TSUCHIHASHI, R., e TCHOBANOGLIOUS, G. **Water Reuse, Issues, Technologies, and Applications**; McGraw-Hill: New York, 2007
- BEEKMAN, G. B. **Qualidade e conservação da água**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL. Brasília, 1996.
- BERNER, E. K., BERNER, R. A. **Global Environment: Water, Air, and Geochemical Cycles**. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 1996
- BERTONCINI, E. I. **Tratamento de efluentes e reúso de água no meio agrícola**. *Revista Tecnologia e Inovação Agropecuária*. V. 1, n. 1, p. 152-169, jun. 2008.
- BNB – Banco do Nordeste. **Mapa do semiárido**. Disponível em <<http://www.bnb.gov.br/>> Acesso em junho/2012.
- CAMARGO, A. L. de B. **Desenvolvimento Sustentável– Dimensões e desafios**. São Paulo: Papirus, 2003.
- CAPRA, F.A. **A Teia da Vida – Uma nova compreensão Científica dos Sistemas Vivos**. São Paulo, Editora Cultrix, 1996.
- CAVALCANTI, C. **Economia e Ecologia: Problemas da Governança Ambiental no Brasil**. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica* Vol. 1: 1-10 2004
- CIDIN, R. C. P. J; SILVA, R. S. **Pegada Ecológica: instrumento de avaliação dos impactos antrópicos no meio natural**. *Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia*, Vol. 2, No 1, 2004

CHAPAGAIN, A. K; TICKNER, D. **Water Footprint: Help or Hindrance?** *Water Alternatives* 5(3): 563-581 , 2012

CNDSAB – **Cartilha Novas Delimitações do Semi-Árido Brasileiro**. Disponível em <<http://www.integracao.gov.br/desenvolvimentoregional/publicacoes/delimitacao.asp>> Ministério da Integração Social. Acesso em outubro/2008.

COMAR, M.V. **Avaliação Emergética de Projetos Agrícolas e Agroindustriais: a busca do desenvolvimento sustentável**. 1998. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas.

CPRM - **Serviço Geológico do Brasil. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Cabaceiras, estado da Paraíba/** organizado [por] João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Franklin de Moraes, Vanildo Almeida Mendes, Jorge Luiz Fortunato de Miranda. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

DANTAS, E. J. da C. **Análise Comparativa entre a Pegada Hídrica do Norte de Portugal e a Pegada Hídrica Nacional**. Dissertação de mestrado. Escola de Economia e Gestão. Universidade do Minho. Conclusão: 2012

DUMONT, A., SALMORAL, G, LLAMAS, M. R.. **The water foot print of a river basin with a special focus on ground water: The case of Guadalquivir basin (Spain)**. *Water Resources and Industry*1 (2). 60–76. 2013

ELLIOT, S. **Transdisciplinary perspectives on environmental sustainability: a resource base and framework for it-enabled business transformation**. *Mis quarterly* v. 35 n. 1, 197-236, 2011.

EPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **What is watershed?** Disponível em <<http://water.epa.gov/type/watersheds/whatis.cfm>> Acesso em 09/2012.

ERCIN, A.E., HOEKSTRA, A. Y. **Water footprint scenarios for 2050: A global analysis**. *Environment International*, 64: 71-82, 2014

ERCIN, A. E.; ALDAYA, M. M; HOEKSTRA, A. Y. **Corporate Water Footprint Accounting and Impact Assessment: The Case of the Water Footprint of a Sugar-Containing Carbonated Beverage**. *Water Resour Manage* 25:721–741, 2011.

FAO - **Food and agriculture organization**. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: junho de 2010.

FRANCKE, I.C.M. CASTRO, J.F.W. **Carbon and water footprint analysis of a soap bar produced in Brazil by Natura Cosmetics**. *Water Resources and Industry*1–2, 37–48, 2013.

GIACOMIN, G. S; OHNUMA JR., A.A. **A pegada hídrica como subsídio a ações de Educação ambiental**. *Revista Ambiente & Educação*, v. 17(1), 2012

- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. Ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- GOODLAND, R. **The Concept of Environmental Sustainability**. Annual Review of Ecology and Systematics, V. 26, 1-24, 1995.
- GUIDOLIM, J. C. **Reuso de efluentes**. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, Ministério do Meio Ambiente, 2000.
- HESPANHOL, I. **Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre v. 7, n. 4, 75-95, 2002.
- HOEKSTRA A. Y. **Human appropriation of natural capital: a comparison of ecological footprint and water footprint analysis**. Ecol Econ 68(7):1963–1974. 2009
- HOEKSTRA, A. Y. **The water footprint of animal products**. In: D'Silva, J. and Webster, J. (eds.) **The meat crisis: Developing more sustainable production and consumption**, Earthscan, London, 2010.
- HOEKSTRA, A.Y. **The global dimension of water governance: Why the river basin approach is no longer sufficient and why cooperative action at global level is needed**. Water, 3(1):21-46, 2011.
- HOEKSTA, A.Y. **The hidden water resource use behind meat and dairy**. Animal Frontiers, 2(2): 3-8, 2012
- HOEKSTRA, A. Y. CHAPAGAIN, A.K. **Globalization of water: sharing the Planet's freshwater resources**, Blackwell Publishing, Oxford, 2008.
- HOEKSTRA, A.Y; MEKONNEN, M. M. **From water footprint assessment to policy**, Proceedings of the National Academy of Sciences, 109(22): E1425, 2012
- HOEKSTRA, A. Y; CHAPAGAIN, A. K; ALDAYA, M. M; MEKONNEN, M. M. **The water footprint assessment manual**. Earthscan: London, 2011.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Relatório de 2000**. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/>. Acesso em 09/2012.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Relatório de 2010**. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/>. Acesso em 07/2013.
- INSA – Instituto Nacional do Semi Árido. **O Semi-árido**. http://www.insa.gov.br/index.php?option=com_content&task=view&id=17&Itemid=64
Acesso em 05/2012
- IPCG – **Internacional Panel on Climate Change**. Disponível em <http://www.ipcc.ch/>. Acesso em 08/2012.

- IUCN, UNEP, WWF. **The World Conservation Strategy**. WWF, Gland, Switzerland, 1980.
- JUNGES, J. R. **Ética ecológica: antropocentrismo ou biocentrismo?** Persp. Teol. 33, 33-66, 2001
- KANE, R. P.; TRIVEDI, N. B. **Spectral characteristics of the annual rainfall series for northeast Brazil**, Climate Change, v.13, p.317-336,1988
- KANE, R. P. **Prediction of droughts in North-east Brazil: Role of ENSO and use of periodicities**, Internacional Journal of Climatology, v.17, p.655-665,1997
- KORI, E; GONDO, T. **Environmental Sustainability: Reality, Fantasy or Fallacy?** 2nd International Conference on Environment and BioScience. IPCBEE vol.44, 2012.
- LAGO, A., PÁDUA, J.A. **O que é ecologia**. São Paulo: Brasiliense, 1984.
- LEFF, E. **Saber Ambiental: sustentabilidade, racionalidade, complexidade, poder**. Petrópolis, RJ: Vozes, 2001.
- LEMOS, M. **Sistema modular para tratamento de esgoto doméstico em assentamento rural e reúso para produção de girassol ornamental**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Semiárido, 2011
- MALVAZZI, R. **Semiárido: Uma visão holística**. Brasília. ed. Pensar Brasil, v.2, p.140, 2007
- MARACAJÁ, K. F. B. **Nacionalização dos recursos hídricos: um estudo Exploratório da pegada hídrica no brasil**. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, 2013.
- MEKONNEN, M.M.; HOEKSTRA, A.Y. **The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products**. Hydrology and Earth System Sciences 15:1577-1600, 2011.
- MEKONNEN, M.M.; HOEKSTRA, A.Y. **National water footprint accounts: the green, blue and grey water footprint of production and consumption**. Value of Water Research Report Series No.50, UNESCO-IHE, Volume 1, 2011.
- MILLER JR, G. T. **Ciência Ambiental**. Tradução da 11ª edição norte-americana. São Paulo: Cengage Learning, 2008.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Agenda 21**. Disponível em <http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21>. Acesso em 09/2013.
- MOLDEN, D. **Water for food, water for life: a comprehensive assessment of water management in agriculture**. Earthscan, London and International Water Management Institute Colombo, 2007.

MORELLI, J. **Environmental Sustainability: A Definition for Environmental Professionals**. Journal of Environmental Sustainability.V. 1, 2011.

NARAIN, S. **Sanitation for all**. Nature. V. 486, n. 185. 2012

ODUM, H.T. **Environmental Accounting: Energy and Environmental Decision Making**. John Wiley & Sons, Inc, New York, USA, 1996.

OKI, T.; KANAE, S. **Global hydrological cycles and world water resources.**: Science. V. 313, n. 5790 p. 1068-1072. 2006

OZEROL, GUL; BRESSERS, HANS; COENEN, FRANS. **Irrigated agriculture and environmental sustainability: an alignment perspective**. Environmental science & policy. V. 2 n. 3 , 2012.

PADILHA, J. A; ZANGHETIN, M. F. L; ORTEGA, E. .In Ortega, E. & Ulgiati, S. (editors): **Advances in Energy Studies**. Proceedings of IV Biennial International Workshop. Unicamp, Campinas, SP, Brazil. P. 65-72, 2004.

PINHEIRO, J. C. V;. CARVALHO, R. M. **Gestão dos recursos hídricos no sistema agroindustrial nordestino: uma abordagem teórica**. Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional. p. 52-72, 2010.

PIZELLA, D. G.; SOUZA, M.P. **Análise da sustentabilidade ambiental do sistema de classificação das águas doces superficiais brasileiras**. Revista Eng. sanit. ambient. V.12, Nº 2, 139-148, 2007.

PNUD. **Índice de Desenvolvimento Humano do Município de Cabaceiras**, Disponível em Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil. 2000.

REBOUÇAS, A. C. **Água na região Nordeste: desperdício e escassez**. Estudos Avançados. V..11 n.29, 1997.

REBOUÇAS, A.C. **Água doce no mundo e no Brasil**. In: **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. Organizadores: Aldo da Cunha Rebouças, Benedito Braga, José Galizia Tundisi – 2. Ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2002.

RESENDE NETO, A. **Sustentabilidade, água virtual e pegada hídrica: um estudo exploratório no setor bioenergético**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

RIDOUTT, B. G; SANGUANSRI, P. FREER, M. HARPER, G. S. **Water footprint of livestock: comparison of six geographically defined beef production systems**. Int J Life Cycle Assess. N. 17, 165 – 175, 2012.

ROCHA, J. S. M.da. **Manual de projetos ambientais**. Santa Maria: Imprensa Universitária, 1997.

ROCHA, J. S. M., KURTZ, S. M. J. M. **Manual de manejo integrado de bacias hidrográficas**. 4 ed. Santa Maria: Edições UFSM/CCR, 2001.

SANTOS, M. J DOS. ARAÚJO, L. E. de; OLIVEIRA, E. M. SILVA, B. B. **Seca, precipitação e captação de água de chuva no semi-árido de sergipe**. Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 1, p. 055 -073 , 2009

SICHE, J.R; AGOSTINHO F; ORTEGA. E, ROMEIRO, A. **Sustainability of nations by indices: Comparative study between environmental sustainability index, ecological footprint and the emergy performance indices**. Ecological economics 66, 628–637, 2008.

SILVA, V de P. R da; ALEIXO, D. de O.; NETO, J. D.; MARACAJÁ, K. F. B.; ARAÚJO, L. E. de. **Uma medida de sustentabilidade ambiental: pegada hídrica**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. V. 17, 2013

SOUZA, S. H. B. de; MONTENEGRO, S. M. G L.; SANTOS, S. M. de; PESSÔA, S. G. dos.; NÓBREGA, R. L. B. **Avaliação da qualidade da água e da eficácia de barreiras sanitárias em sistemas para aproveitamento de água de chuva**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 16, n. 3, p. 81-93, 2011.

SPEECE, R. E., **Anaerobic Biotechnology and Odor/Corrosion Control**; Archae Press: Nashville, 2008.

STAHEL, A. W. **Capitalismo e Entropia: Aspectos Ideológicos de uma Contradição e a Busca de Alternativas Sustentáveis**. In: CAVALCANTI, Clóvis (org.) Desenvolvimento e Natureza: Estudos para uma Sociedade Sustentável. São Paulo: Cortez, p. 104 – 127. 1998.

TNC – The Nature Conservancy. **Entrevista com Albano Araújo sobre Pegada Hídrica**. Disponível em <http://portugues.tnc.org/nossas-historias/destaques/pegada-hidrica.xml>. Acesso em 11/ 2013.

TUNDISI, J. G. **Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções**. Estudos avançados, 22 (63), 2008.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de textos, 2008.

USGS – United States Geological Survey's. **Water cycle**. Disponível em <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycle.html>. Publicado em 2013.

VANHAM, D. **An assessment of the virtual water balance for agricultural products in EU river basins**. Water Resources and Industry 1–2, 49–59, 2013.

VEIGA, J. E. da. **Desenvolvimento sustentável: o desafio do século XXI**. Editora Garamond, 2005.

VEIGA, J. E. da. **Indicadores de Sustentabilidade**. Estudos avançados 24 (68), 39-52, 2010.

VELÁZQUEZ, E.; MADRID, C.; BELTRÁN, M. J. **Rethinking the Concepts of Virtual Water and Water Footprint in Relation to the Production–Consumption Binomial and the Water–Energy Nexus**. Water Resour Manage 25, 743–761, 2011.

VERLICCHI, P., AL AUKIDY, M, GALLETTI, A, ZAMBELLO E, ZANNI G, MASOTTI L. **A project of reuse of reclaimed wastewater in the Po Valley, Italy: Polishing sequence and cost benefit analysis**. Journal of Hydrology 432, 127–136, 2012.

WFN - **Water Footprint Network** . Disponível em <http://www.waterfootprint.org/>. Acesso em 07/2013.

WMO – World Meteorological Organization. **The World's Water: is there enough?** United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 1997.

WWAP – **World Water Assessment Programme**. Disponível em <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/>. Acesso em 05/2009

YU, Y., WEN, Z.; **Evaluating China's urban environmental sustainability with Data Envelopment Analysis**. Ecological Economics 69, 1748–1755, 2010.