



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
FACULDADE DE ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA
MESTRADO EM ECONOMIA

CAROLINA SILVA RIBEIRO

**PEGADA HÍDRICA E ÁGUA VIRTUAL: ESTUDO DE CASO DA MANGA NO
SUBMÉDIO DO VALE DO SÃO FRANCISCO, BRASIL**

SALVADOR
2014

CAROLINA SILVA RIBEIRO

**PEGADA HÍDRICA E ÁGUA VIRTUAL: ESTUDO DE CASO DA MANGA NO
SUBMÉDIO DO VALE DO SÃO FRANCISCO, BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Economia da Faculdade de Economia da Universidade Federal da Bahia como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Economia.

Área de concentração: Economia Regional e Meio Ambiente.
Orientadora: Prof^a. Dr^a. Gilca Garcia de Oliveira

**SALVADOR
2014**

Ficha catalográfica elaborada por Vânia Cristina Magalhães CRB 5- 960

Ribeiro, Carolina Silva

R484 Pegada hídrica e água virtual: estudo de caso da manga no submédio do Vale do São Francisco, Brasil./ Carolina Silva Ribeiro. – Salvador, 2014.

79f. Il.; quad.; fig.; tab.

Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Economia, Universidade Federal da Bahia, 2014.

Orientadora: Profa. Dra. Gilca Garcia de Oliveira.

1. Economia ambiental. 2. Recursos hídricos. 3. São Francisco, Rio, Vale. 4. Manga - Cultivo. I. Oliveira, Gilca Garcia de. II. Título. III. Universidade Federal da Bahia.

CDD – 333.9100981



Universidade Federal da Bahia
Faculdade de Economia
Programa de Pós-Graduação em Economia
Mestrado e Doutorado em Economia

TERMO DE APROVAÇÃO

CAROLINA SILVA RIBEIRO

**“PEGADA HÍDRICA E ÁGUA VIRTUAL: ESTUDO DE CASO
DA MANGA NO SUBMÉDIO DO VALE DO SÃO
FRANCISCO, BRASIL”**

Aprovada em 16 de dezembro de 2014.

Dissertação de Mestrado aprovada como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Economia pela seguinte banca examinadora:

Profa. Dra. Gilca Garcia de Oliveira
(Orientadora - PPGE/ECO/UFBA)

Prof. Dr. Henrique Tomé da Costa Mata
(PPGE/ECO/UFBA)

Profa. Dra. Francis Lee Ribeiro
(UFG)

A minha mãe, Albertina Ribeiro.

AGRADECIMENTOS

Minha gratidão maior é ao Pai de todas as coisas. Agradeço, a ti meu Deus, por ter me permitido chegar até aqui.

A minha mãe, meu porto seguro, responsável pela pessoa que sou hoje e por ter me proporcionado a oportunidade para que eu pudesse encontrar meu caminho. A meu pai, eternas saudades. Aos meus irmãos Daniele, Mariana e Eduardo pelos ensinamentos diários, pelo amor e companheirismo.

A minha orientadora, a professora Gilca, pelo comprometimento, dedicação, paciência e sensibilidade social. Por fazer parte da minha formação. Por ser uma referência na minha vida acadêmica.

Aos meus amigos, pelas palavras de apoio e conforto nos momentos em que precisei. Aos amigos do mestrado, em especial: Andressa, Daniel, Elizabeth, Cícero, Ramon, Daiana, Verônica, Gilmara, Jeferson, Dante, Lucas e Dênis que a vida me deu a oportunidade de conhecer, pela torcida, convivência, pelos bons e sofridos momentos juntos. A Érica Imbirussú sempre presente, amiga da turma.

Aos professores do Programa de Pós Graduação em Economia (PPGE) pelo conhecimento passado e ensinado. Aos funcionários da Secretaria do PPGE, Max, Ruy e Jaqueline, pelo atencioso atendimento e pela ajuda. A Vânia pelas correções do trabalho e a todos os funcionários da biblioteca.

Aos professores Henrique Thomé da Costa Mata e Francis Lee Ribeiro por terem aceitado participar da minha banca.

Ao professor André Neto e a Léo pelas grandes contribuições a este trabalho.

Ao Sr. Jackson pelas valiosas informações sobre o Perímetro Irrigado Mandacaru, de fundamental importância para este estudo.

Ao Senhores Josival e José pela atenção e presteza no fornecimento de dados.

A Rodrigo Vieira da Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF) pela atenção e presteza no fornecimento de informações sobre o Perímetro Irrigado Mandacaru.

A VALEXPORT pela atenção e pelo provimento dos dados do Submédio do Vale do São Francisco.

A Luziadne Kotsuka pelas dicas e informações passadas que mesmo sem me conhecer ajudou muito na concepção deste trabalho.

Aos colegas da Comissão Técnica de Garantia Ambiental da Secretaria de Indústria, Comércio e Mineração, em especial Beatriz Pita e Laís Maciel, pela compreensão e apoio.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro concedido para a realização do curso.

E, a todos aqueles que direta ou indiretamente estiveram presentes e contribuíram para a realização deste trabalho.

A todos muito obrigada!

“Você só sente falta da água quando o poço
seca”.

Antigo provérbio da gente do campo.

RESUMO

A água é um bem estratégico para a sobrevivência da humanidade. As pressões decorrentes do aumento da produção de alimentos, do desenvolvimento de fontes de energia dependentes de água, do crescimento populacional e do crescimento econômico impulsionaram o consumo de água. Dessa forma, a crescente demanda por água e as limitadas possibilidades de incrementar sua oferta impõem novas práticas e ferramentas de gestão que promovam a eficiência do uso da água na distribuição, no consumo, no processo produtivo e incentivem a racionalização do seu uso. Assim, os conceitos de pegada hídrica e de água virtual vêm adquirindo destaque no cenário científico, face ao desafio do desenvolvimento de práticas de gestão do uso da água pautadas na promoção da eficiência hídrica. Estes conceitos atuam como indicadores do uso e apropriação da água nas perspectivas da produção e do consumo. Nesse contexto, este trabalho tem por objetivo analisar a implementação das ferramentas da pegada hídrica e da água virtual na gestão do uso da água. Para tanto, a análise se dará a partir da manga produzida na região do Submédio do Vale do São Francisco, no semiárido brasileiro. A análise da pegada hídrica da manga (*Mangifera indica* L) foi realizada a partir de informações do perímetro irrigado Mandacaru, localizado no município de Juazeiro no Estado da Bahia. Os resultados apontaram maior participação da pegada hídrica azul (74%), seguidas da pegada hídrica verde (25%) e cinza (1%) na contribuição da pegada hídrica total para a manga irrigada. Já os fluxos de água virtual na região de estudo mostraram que a Europa recebe um volume substancial de água por meio da manga produzida pelo Submédio do Vale do São Francisco.

Palavras-chave: Eficiência do uso da água. Pegada hídrica. Água virtual. Gestão do uso da água.

ABSTRACT

Water is a strategic asset for the survival of humanity. The pressures of increasing food production, development-dependent energy sources of water, population growth and economic growth boosted the consumption of water. Thus, the growing demand for water and the limited possibilities to increase its offer impose new practices and management tools that enhance the efficiency of water use in the distribution, consumption, the production process and encourage the rationalization of its use. Thus, the water footprint and virtual water concepts have acquired prominence in the scientific field, the challenge of developing the use of water management practices guided by the promotion of water efficiency. These concepts serve as the use and appropriation of water from the perspectives of production and consumption indicators. In this context, this work aims to analyze the implementation of the tools of the water footprint and virtual water in the management of water use. Therefore, the analysis will take place from the sleeve produced in the Lower Basin region of the São Francisco Valley, in the Brazilian semiarid region. The analysis of the water footprint of mango (*Mangifera indica* L) was held from irrigated perimeter of information Mandacaru, located in the municipality of Juazeiro in Bahia. Results showed higher participation of blue water footprint (74%), followed by the green water footprint (25%) and gray (1%) on the contribution of the total water footprint for irrigated sleeve. Have the virtual water flows in the study area showed that Europe receives a substantial amount of water through the sleeve produced by the Lower Basin of San Francisco Valley.

Keywords: Efficiency of water use. Water footprint. Virtual water. Management of water use.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Água na Terra	18
Figura 2 – Distribuição da água doce superficial no mundo	19
Figura 3 – Histórico da gestão de recursos hídricos, políticas estaduais de recursos hídricos	21
Figura 4 – Representação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos	22
Figura 5 – Instrumentos da PNRH	23
Figura 6 – Localização do Submédio do Vale do São Francisco	27
Figura 7 – Evolução das exportações de mangas do Submédio do Vale do São Francisco e do Brasil, em toneladas	32
Figura 8 – Principais destinos das exportações de mangas do Submédio do Vale do São Francisco de 2002 a 2013	33
Figura 9 – Fases de avaliação da pegada hídrica	40
Quadro 1 – Tipos de Pegada Hídrica	41
Figura 10 – Pegada hídrica <i>per capita</i> dos diversos países ($m^3/per\ capita/ano$)	42
Figura 11 – Contribuição dos grandes consumidores para a pegada hídrica global	43
Quadro 2 – Dados de entrada necessários para o cálculo da pegada hídrica azul e verde de uma cultura	50
Figura 12 – Fluxos internos e externos de água virtual entre duas nações	55
Figura 13 – Fluxos de água virtual no mundo	55
Figura 14 – Localização do município de Juazeiro no Estado da Bahia	57
Figura 15 – Perímetro Irrigado Mandacaru	58
Figura 16 – <i>Layout</i> do software CROPWAT 8.0	60
Figura 17 – Pegada hídrica total da manga (m^3/t) no perímetro irrigado Mandacaru	63
Figura 18- Contribuição em termos percentuais das diferentes componentes da pegada hídrica total da manga cultivada com irrigação	64
Figura 19 – Comparação da pegada hídrica com pegadas hídricas de outras culturas (m^3/t)	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Área plantada e colhida, quantidade produzida e valor da produção de manga no Brasil, por região, 2002-2012.	30
Tabela 2 – Participação na produção nacional de manga, segundo a importância dos principais Estados produtores - 2012.	31
Tabela 3 – Participação na produção nacional de manga, segundo a importância dos principais municípios produtores - 2012.	32
Tabela 4 – Fluxos de água virtual da manga produzida pelo Submédio do Vale do São Francisco	66

LISTA DE SIGLAS

ALICE-Web	Sistema de Análise das Informações de Comércio Exterior via Internet
ANA	Agência Nacional de Águas
AV	Água Virtual
AV _E	Água Virtual Exportada
AV _I	Água Virtual Importada
CODEVASF	Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba
COMTRADE	Commodity Trade Statistics Data Base
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CWR	<i>Crop Water Requirements</i>
DIMAND	Distrito de Irrigação do Mandacaru
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ET AZUL	Evapotranspiração Azul
ET VERDE	Evapotranspiração Verde
ET	Evapotranspiração
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
FERHBA	Fundo Estadual de Recursos Hídricos da Bahia
FLUXO AV	Fluxo de Água Virtual
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INEMA	Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
IWE	Institute for Water Education
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
PERH	Plano Estadual de Recursos Hídricos
PH AZUL	Pegada Hídrica Azul
PH CINZA	Pegada Hídrica Cinza
PH VERDE	Pegada Hídrica Verde
PH	Pegada Hídrica
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
RPGA	Regiões de Planejamento e Gestão das Águas
SECEX	Secretaria de Comércio Exterior
SEIA	Sistema Estadual de Informações Ambientais e de Recursos Hídricos
SEIRH	Sistema Estadual de Informações de Recursos Hídricos

SEMA	Secretaria do Meio Ambiente do Estado da Bahia
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
VALEEXPORT	Associação dos Produtores e Exportadores de Hortigrangeiros e Derivados do Vale do São Francisco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS	17
2.1	GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL	19
2.1.1	A Lei das Águas	21
2.2	GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NO ESTADO DA BAHIA	24
2.2.1	Evolução da gestão dos recursos hídricos no Estado da Bahia	24
3	MANGICULTURA NO SUBMÉDIO DO VALE DO SÃO FRANCISCO	27
3.1	O CULTIVO DA MANGUEIRA	29
4	ÁGUA VIRTUAL E PEGADA HÍDRICA	34
4.1	ÁGUA VIRTUAL	35
4.2	PEGADA HÍDRICA	39
4.2.1	Componentes da Pegada Hídrica	44
4.2.2	Pegada Hídrica para produtos agrícolas	47
4.2.2.1	Pegada Hídrica Verde	48
4.2.2.2	Pegada Hídrica Azul	51
4.2.2.3	Pegada Hídrica Cinza	52
4.2.3	Avaliação da Pegada Hídrica como um novo indicador do uso da água	52
4.2.4	Fluxos de Água Virtual	54
5	METODOLOGIA	57
5.1	CARACTERIZAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	57
5.2	CÁLCULO DA PEGADA HÍDRICA DA MANGA	59
5.2.1	Componentes da pegada hídrica da manga	59
5.2.1.1	Pegada Hídrica Verde da manga	59
5.2.1.2	Pegada Hídrica Azul da manga	61
5.2.1.3	Pegada Hídrica Cinza da manga	61
5.3	FLUXOS DE ÁGUA VIRTUAL PELA MANGA	62
6	RESULTADOS	63
6.1	PEGADA HÍDRICA E OS FLUXOS DE ÁGUA VIRTUAL PELA MANGA	63
6.2	PEGADA HÍDRICA, ÁGUA VIRTUAL E A GESTÃO DA ÁGUA	66
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
	REFERÊNCIAS	70
	APÊNDICES	77

1 INTRODUÇÃO

A produção mundial de manga ultrapassa 23 milhões de toneladas por ano FAO (2012). A Índia é a líder mundial na produção da cultura, com 39% do total. O Brasil ocupa a oitava posição no *ranking*, representando 3% do total produzido no mundo FAO (2012). As principais regiões produtoras no Brasil são as regiões Nordeste e Sudeste, com 66% e 32% do total do país, respectivamente (IBGE, 2012). O setor de fruticultura é um dos segmentos de destaque no país, tanto pela crescente participação no comércio internacional quanto pelo abastecimento do mercado doméstico, além de apresentar elevada rentabilidade e expressiva utilização da força de trabalho, sendo de grande importância para as exportações brasileiras. (BRANCO, 2014).

Na região semiárida do Nordeste brasileiro, a manga irrigada cultivada tem contribuído de forma significativa para o aumento da produção nacional. Nessa região, a mangueira requer aproximadamente 1370 mm de água por ano, um volume considerado elevado (COELHO FILHO; COELHO, 2007). A mangueira é uma cultura que necessita de água em todas as suas fases fenológicas. Coelho Filho e Coelho (2007) ressaltam que os produtores devem procurar utilizar bem o sistema de irrigação, pois a aplicação indiscriminada de água, sem bases técnicas, leva ao desperdício, gerando gastos desnecessários e o comprometimento do meio ambiente.

Nos dias atuais, um dos grandes desafios do sistema de gestão da água está no “desenvolvimento de práticas de gestão pautadas pela promoção da eficiência no uso da água, garantia do uso sustentável da água e necessidade de promover responsabilização face à disponibilidade hídrica” (EMPINOTTI; JACOBI, 2012, p. 9). Nesse sentido, indicadores de uso da água passaram a ser fundamentais na promoção e aplicação de práticas que levem ao uso eficiente dos recursos hídricos (EMPINOTTI; JACOBI, 2012). Assim, novos conceitos vêm adquirindo destaque no cenário científico, como a água virtual (AV) e a pegada hídrica (PH). O primeiro atua na perspectiva do uso da água na produção, já o segundo como indicador do uso da água na perspectiva do consumo (VELÁZQUEZ, *et al.*, 2009; VELÁZQUEZ *et al.*, 2011).

O conceito de água virtual foi introduzido por Allan (1998), mas é com Hoekstra e Hung (2002) que o torna mais operacional. Esses autores definem a água virtual como a água

utilizada no processo de produção de um produto. Estudos realizados por Chapagain e Hoekstra (2004) determinaram os fluxos de água virtual relacionados ao comércio de produtos agrícolas em diferentes regiões do mundo. Segundo os autores, os maiores exportadores de água virtual são a América do Norte e a América do Sul e os maiores importadores a Europa e o Sul da Ásia. Já o conceito de pegada hídrica foi cunhado por Hoekstra (2003). A pegada hídrica, indicador do uso direto e indireto da água, é dividida em três componentes: pegada hídrica azul, água superficial e subterrânea, incorporada ao processo através da irrigação; pegada hídrica verde, água da chuva, desde que não escoe; e, pegada hídrica cinza, volume de água doce necessária para assimilar a carga de poluentes. Mekonnen e Hoekstra (2010b) estimaram a pegada hídrica do trigo, uma das culturas com maior consumo de água do mundo, obtiveram resultados de 1.087 km³/ano de pegada hídrica global, com média de 1.827 m³/tonelada, que corresponde a 70% de água *verde*, 19% de água *azul* e de 11% de *cinza*.

O Submédio do Vale do São Francisco (Polo Juazeiro-Petrolina) tem se destacado nos últimos anos como um dos principais centros exportadores de fruticultura no Brasil. As exportações da região se concentram principalmente na manga e na uva, culturas de alto valor comercial e bem aceitas na Europa e nos Estados Unidos, seus principais destinos. Em 2013, a região foi responsável por mais de 90% das exportações de manga do país (VALEXPORT, 2014). Diante da expressiva importância da manga no cenário econômico da região e do país, seu elevado consumo de água, da percepção da água enquanto bem essencial à vida e da magnitude do seu uso pela agricultura irrigada se desperta o interesse de investigar o consumo de água pela mangueira numa região semiárida, o Submédio do Vale do São Francisco.

Nesse contexto, o objetivo geral deste trabalho é analisar a implementação das ferramentas da pegada hídrica e da água virtual na gestão do uso da água. Para tanto, a análise se dará a partir da manga produzida na região do Submédio do Vale do São Francisco, no semiárido brasileiro. Os objetivos específicos são: (i) determinar as componentes azul, verde e cinza da pegada hídrica da manga cultivada na região de estudo, a fim de estimar a pegada hídrica total da cultura; e (ii) estimar os fluxos de água virtual da manga produzida pelo Submédio do Vale do São Francisco com os demais países.

Quanto à metodologia adotada no presente estudo, esta se deu em duas fases. Na primeira foi realizada pesquisa bibliográfica em fontes especializadas sobre pegada hídrica e água virtual,

além do levantamento de dados estatísticos a órgãos nacionais e internacionais. Na segunda fase, a de mensuração da pegada hídrica e dos fluxos de água virtual, utilizou-se os estudos desenvolvidos por Hoekstra e outros (2011) e Hoekstra e Hung (2002), respectivamente.

Além desta introdução, o presente trabalho está dividido em mais seis capítulos. O capítulo seguinte aborda a gestão dos recursos no Brasil e no Estado da Bahia. O terceiro capítulo trata dos conceitos de água virtual e da pegada hídrica. No quarto capítulo são discutidos os aspectos referentes à mangicultura no Submédio do Vale do São Francisco. No quinto capítulo é apresentada a metodologia utilizada no trabalho. O sexto capítulo mostra os resultados da determinação da pegada hídrica e dos fluxos de água virtual da manga, além de relacioná-los à gestão da água. E, por fim o sétimo capítulo traz as considerações finais acerca do trabalho.

2 GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

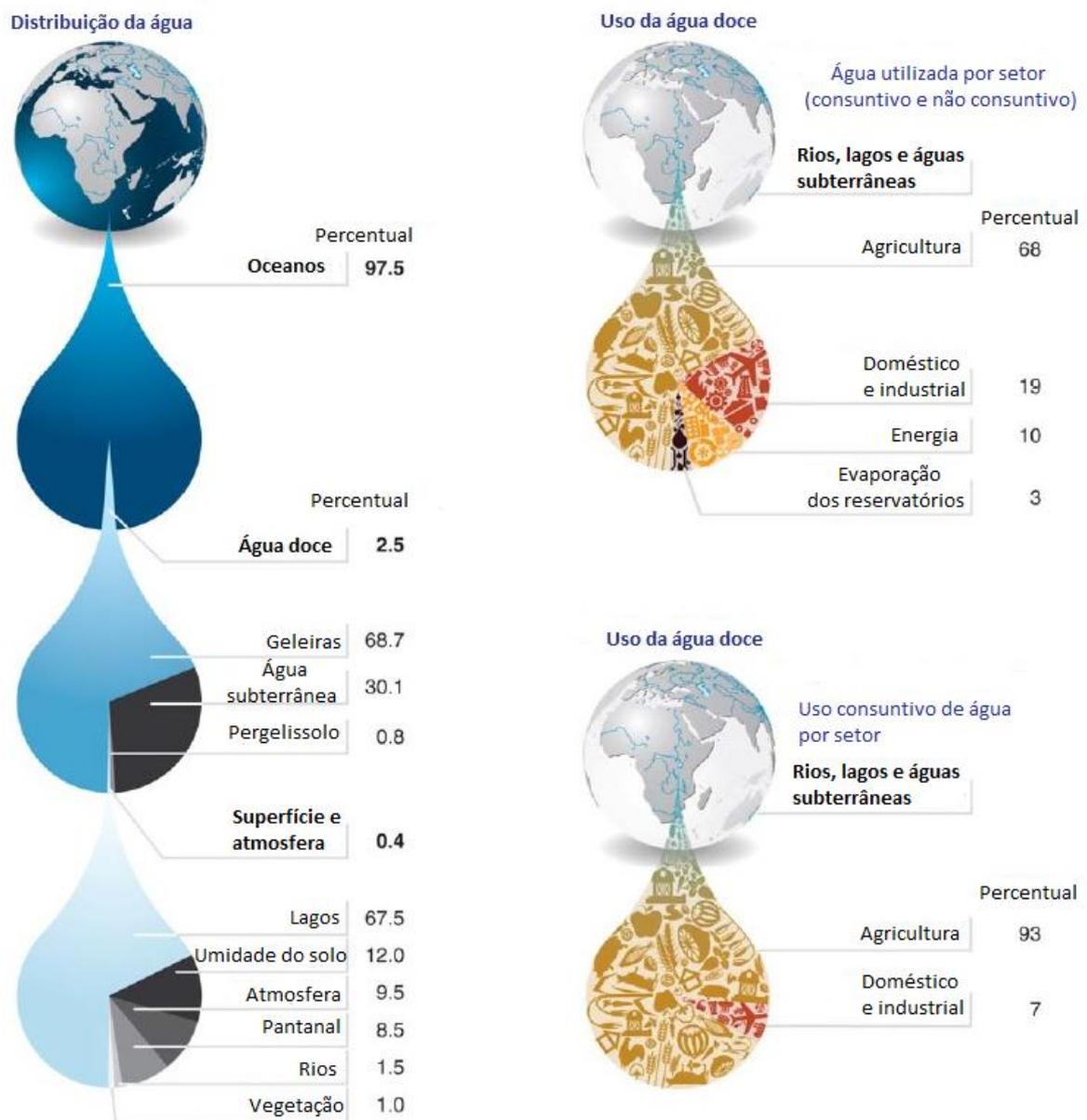
A gestão da água envolve a preservação das nascentes fornecedoras de água, o uso racional do recurso hídrico, as alocações hídricas igualitárias, a participação dos usuários, o manejo adequado dos corpos d'água, além de acordos hídricos transfronteiriços ou inter-bacias eficazes.

A escassez de água compromete o desenvolvimento de várias regiões e sua degradação afeta, seja de forma direta ou indireta a saúde, a segurança e o bem-estar da população, além de atividades econômicas e sociais (BORSOI; TORRES, 1997). As atividades antrópicas também produzem efeitos negativos sobre as águas lançando substâncias poluidoras nos corpos hídricos, por meio do abastecimento humano e industrial, além do carreamento de agrotóxicos com a irrigação; alterando o regime e a qualidade das águas para a geração de energia elétrica; e, inundando áreas vegetativas com a construção de grandes barragens (BORSOI; TORRES, 1997). Nesse sentido, a gestão dos recursos hídricos é de fundamental importância para mitigar os impactos e assegurar a existência de água em qualidade e quantidade suficiente às gerações futuras.

Da água existente na Terra 97,5% é de água salgada. Os 2,5% restantes são de água doce e não estão totalmente disponíveis para o consumo, estando presentes sob a forma de geleiras ou neve, água subterrânea e vapor atmosférico (GLOBAL WATER SECURITY, 2012), conforme Figura 1. Dos usos consuntivos de água por setor, somente a agricultura responde por 93% do consumo mundial, enquanto que os setores doméstico e industrial por 7%. Na Figura 2 é possível observar a distribuição da água doce superficial no mundo. As Américas detém a maior parte da água doce superficial mundial, seguida da Ásia.

Quanto às experiências internacionais na gestão dos recursos hídricos destacam-se a França, o Reino Unido e a dos Estados Unidos. A experiência francesa na gestão de águas data de 1898, mas é em 1964 que culmina sua lei, definindo a bacia hidrográfica como unidade de gerenciamento de recursos hídricos; inserindo o Comitê de Bacia como instrumento de participação dos setores usuários na gestão; e, a Agência de Bacia, como órgão público com autonomia financeira para a execução de obras, estudos e pesquisas, além da competência para cobrar tarifas dos usuários pelo consumo e poluição da água (BORSOI; TORRES, 1997).

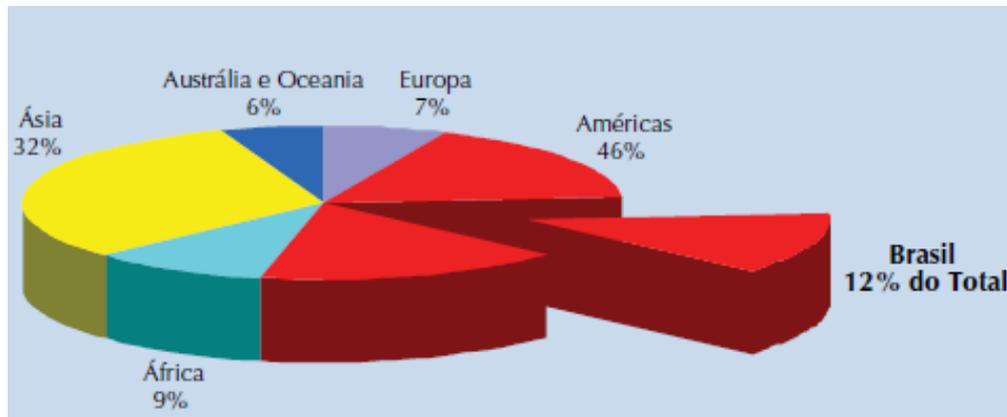
Figura 1 – Água na Terra



Fonte: GLOBAL WATER SECURITY, 2012 (Adaptado)

No Reino Unido, em 1973 foi regulamentada a legislação das águas, atribuindo ao governo central as principais responsabilidades pela política de gestão (BORSOI; TORRES, 1997). Neste, o gerenciamento é centralizado na Autoridade Nacional da Água havendo também autoridades regionais, eleitas por voto, responsáveis pelo uso racional dos recursos hídricos, bem como sua preservação. Já nos Estados Unidos, a lei das águas é de 1965, sendo o Conselho dos Recursos Hídricos o órgão responsável pela gestão de cada unidade de gestão. Também existem, nesse país, comissões de bacia responsáveis por coordenar planos federais, interestaduais e estaduais (BORSOI; TORRES, 1997).

Figura 2 - Distribuição da água doce superficial no mundo



Fonte: BRASIL, 2007

A seguir, trata-se da experiência do Brasil na gestão dos recursos hídricos e posteriormente no do Estado da Bahia.

2.1 GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL

É no contexto da Constituição de Federal de 1934, quando também é aprovado o Código de Águas que começa a ser dado o primeiro passo na gestão dos recursos hídricos no país. O Código de Águas define as águas públicas de uso comum – pertencentes à União, aos Estados e aos Municípios –, além das águas particulares. O Código também estabelece a preferência do uso da água para as primeiras necessidades da vida, sobre quaisquer outros. De acordo com Leal (2010), para a época o Código de Águas traz grandes avanços, abrangendo aplicação de penalidades, direito de propriedade, dominialidade, aproveitamento das águas para navegação, além da inserção dos princípios usuário-pagador e poluidor-pagador.

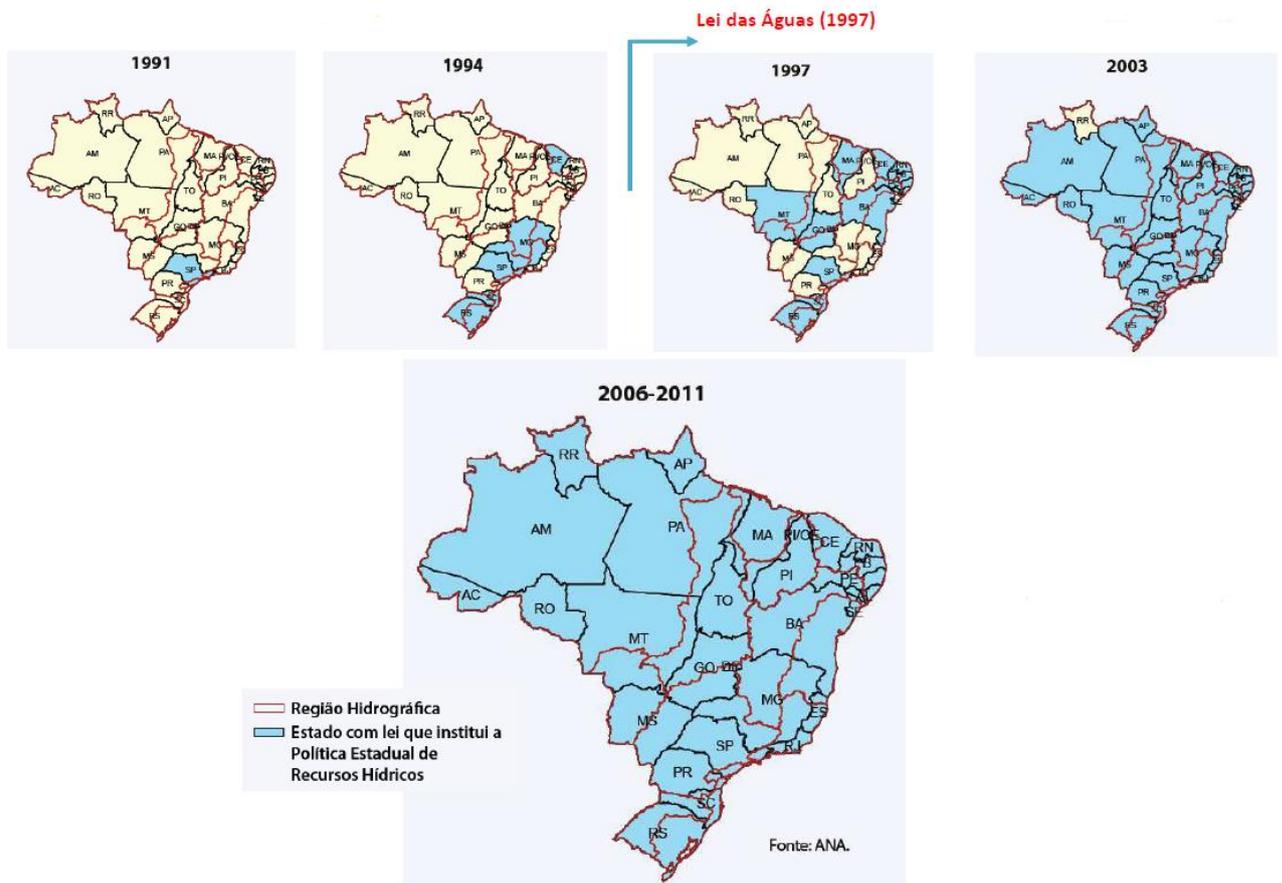
Por outro lado, de acordo com Thomas (2002) o Código de Águas privilegiou o setor elétrico em detrimento dos demais setores. Ainda de acordo com o autor, a gestão de recursos hídricos no Brasil pode ser dividida em duas fases distintas: a primeira ou Velho Paradigma inicia-se em 1934, quando foi promulgado o Código de Água estendendo até 1988 com a promulgação da nova Constituição Federal, sendo marcada por uma gestão setorial, centralizada e insuficiente; já a segunda ou Novo Paradigma começa após a promulgação da Constituição de 1988, esta baseada na gestão descentralizada e participativa, tendo a bacia hidrográfica como unidade de planejamento, no uso múltiplo e valor econômico da água.

A promulgação da Carta Magna, em 1988, traz modificações ao Código de Águas. Dentre elas, a alteração da dominialidade das águas, extinguindo os domínios privado e municipal, passando o domínio das águas à União e aos Estados apenas. Após a Constituição de 1988 foram criados outros marcos legais relativos à gestão dos recursos hídricos, quais sejam: a Lei nº 9.433/97 ou Lei das Águas, a Lei nº 9.984/2000 que cria a Agência Nacional de Águas (ANA) e as Leis estaduais de águas.

Em 2000, um marco legal significativo na gestão de recursos hídricos no Brasil foi a sanção da Lei nº 9.984/2000 que cria a Agência Nacional de Águas, entidade federal com a finalidade de implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos e coordenar o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Dentre suas atribuições, destacam-se: outorgar o direito de uso de recursos hídricos em corpos de água de domínio da União e implementar, em articulação com os Comitês de Bacia Hidrográfica, a cobrança pelo uso de recursos hídricos de domínio da União.

No que diz respeito às legislações de águas nos Estados Brasileiros, todos já têm instituídas suas Políticas Estaduais de Recursos Hídricos. Na Figura 3 tem-se o histórico das políticas estaduais de gestão dos recursos hídricos no país, onde a evolução na implementação da legislação está descrita em amarelo para os Estados com legislação não instituída e em azul instituída.

Figura 3 – Histórico da gestão de recursos hídricos, políticas estaduais de recursos hídricos



Fonte: BRASIL, 2012

O Estado de São Paulo foi pioneiro no país na implantação da sua legislação sobre os recursos hídricos, em 1991. De 1994 a 2003, mais estados passaram ter suas Políticas Estaduais de Recursos Hídricos e de 2006 a 2011 todos passam a ter suas legislações.

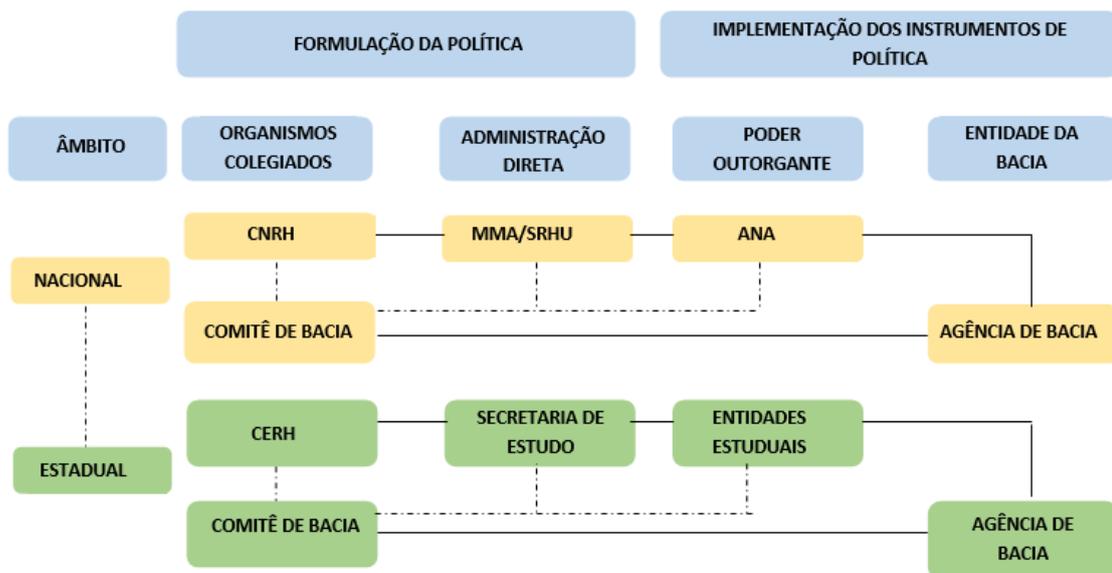
2.1.1 A Lei das Águas

A Lei Federal nº 9.433/97 institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). Dentre os fundamentos da Lei das Águas, destaca-se a água como bem de domínio público, a água enquanto recurso limitado dotado de valor econômico, a bacia hidrográfica como unidade territorial e a descentralização da gestão dos recursos hídricos. Os objetivos da referida Lei são assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, a utilização

racional e integrada dos recursos hídricos, e a prevenção e defesa contra eventos hidrológicos críticos.

Quanto ao SINGREH, segundo o Art. 32 da Lei das Águas, suas atribuições são: coordenar a gestão integrada das águas; arbitrar conflitos relacionados ao uso da água; implementar a PNRH; planejar, regular e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos; e, promover a cobrança pelo uso dos recursos hídricos. Integram o SINGREH o Conselho Nacional de Recursos Hídricos; a Agência Nacional de Águas (ANA); os Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal; os Comitês de Bacia Hidrográfica; os órgãos dos poderes públicos federal e estaduais; do Distrito Federal e municipais cujas competências se relacionem com a gestão de recursos hídricos; e as Agências de Água. Na Figura 4, tem-se a representação do SINGREH.

Figura 4 – Representação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos



Fonte: BRASIL, 2014 (Adaptado)

Para alcançar os objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos, a Lei das Águas instituiu cinco instrumentos de gestão, a saber: o Plano de Recursos Hídricos, a outorga de direito de uso da água, o enquadramento dos corpos d'água, o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos e a cobrança pelo uso dos recursos hídricos, indicados na Figura 5, que mostra sua inter-relação.

Figura 5 – Instrumentos da PNRH



Fonte: BRASIL, 2012

Os Planos de Recursos Hídricos visam fundamentar e orientar a PNRH e o gerenciamento dos recursos hídricos. A outorga de direito de uso da água procura assegurar o controle qualitativo e quantitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água. O enquadramento dos corpos d'água objetiva assegurar qualidade compatível aos usos a que forem destinadas as águas e diminuir os custos de combate à poluição, mediante ações preventivas permanentes. Já o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos é um sistema de coleta que trata, armazena e recupera informações sobre recursos hídricos, além de questões pertinentes a sua gestão.

A cobrança pelo uso dos recursos hídricos visa reconhecer a água como bem econômico e dar ao usuário uma indicação de seu real valor, incentivar a racionalização do uso da água e obter recursos financeiros para o financiamento de programas e intervenções previstos nos planos de recursos hídricos. É considerada um instrumento econômico baseado no princípio do usuário-pagador e do poluidor-pagador¹ (MOTTA, 2006). Este instrumento se refere ao uso da água bruta (rios, lagos e aquíferos) e quem paga são os usuários que a retiram dos mananciais ou a utilizam para lançamento de efluentes (BRONZATTO; AMORIM, 2012).

¹ O princípio usuário pagador diz que quem usa um determinado recurso da natureza deve pagar pela sua utilização. Já o princípio do poluidor pagador visa atribuir ao poluidor o custo social da poluição gerada por ele, responsabilizando-o pelo dano ecológico dos efeitos da poluição, não apenas sobre bens e pessoas, mas sobre toda a natureza.

Tal aspecto está diretamente relacionado ao princípio de que a água é um bem público², nesse sentido os setores usuários devem solicitar, inicialmente, outorga de direito de uso ao órgão gestor responsável.

2.2 GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NO ESTADO DA BAHIA

2.2.1 Evolução da gestão dos recursos hídricos no Estado da Bahia

A gestão de recursos hídricos do Estado da Bahia pode ser compreendida a partir das seguintes Leis: nº 6.855/95 de 12 de maio de 1995, nº 10.432 de 20 de dezembro de 2006, nº 11.612 de 08 de outubro de 2009, nº 12.212 de 04 de maio de 2011 e, nº 12.377 de 28 de dezembro de 2011.

A Lei nº 6.855/95 estabeleceu como instrumentos da Política Estadual de Recursos Hídricos: o Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH); a outorga de direito de uso dos recursos hídricos; e, a cobrança pelo uso de recursos hídricos. Já a Lei nº 10.432/06 passa a ter seis instrumentos, além dos três da lei anterior acrescenta: os Planos de Bacias Hidrográficas; o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo seus usos preponderantes; e, o Sistema Estadual de Informações de Recursos Hídricos (SEIRH).

A Lei nº 11.612/2009 traz uma preocupação maior com a gestão do uso da água e insere mais quatro instrumentos à Política que antes eram apenas citados ou não incluídos, são eles: o monitoramento das águas; a fiscalização do uso de recursos hídricos; o Fundo Estadual de Recursos Hídricos da Bahia (FERHBA); e, a Conferência Estadual do Meio Ambiente. No que diz respeito à Lei nº 12.212/11 esta cria o Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA), como autarquia vinculada à Secretaria do Meio Ambiente do Estado da Bahia (SEMA), mas não traz alterações acerca dos instrumentos de gestão.

E, por fim, a Lei nº 12.377/11 faz a fusão dos órgãos que tratam do meio ambiente e dos recursos hídricos no Estado. No que diz respeito aos Instrumentos faz algumas alterações na

² A água é um elemento da natureza indispensável à vida, nesse sentido a Constituição Brasileira de 1988 traz em seu Art. 99, Inc. I “que são bens públicos os de uso comum do povo, tais como rios. No mesmo sentido a Lei nº 9.433/1997 que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, deixou expresso em seu Art. 1º que constitui-se como um dos fundamentos dessa política nacional o fato de considerar a água como bem de domínio público.

redação do Art. 5º que trata destes. O SEIRH une-se ao Sistema de Informações Ambientais, passando a ser denominado Sistema Estadual de Informações Ambientais e de Recursos Hídricos (SEIA). O monitoramento traz uma abordagem mais ampla passando a abranger a qualidade e o monitoramento dos recursos hídricos. A referida Lei acrescenta que o PERH deve estabelecer mecanismos para se integrar com as demais políticas setoriais. Com relação à outorga ratifica o que dispõe a Lei nº 11.612/09 e acrescenta que os usuários considerados de pouca expressão, ou seja, dispensados de outorga, deverão fazer seu cadastramento junto ao órgão gestor e executor da Política Estadual de Recursos Hídricos, o INEMA. Também salienta que o FERHBA terá seu funcionamento regido por regulamento próprio e que este será aprovado por decreto.

Quanto à cobrança pelo uso dos recursos hídricos, a Lei nº 12.377/11 fixa em 7,5% o percentual a ser destinado ao INEMA do total arrecadado, além de manter a destinação dos outros 7,5% aos órgãos e entidades integrantes do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos, previstos na Lei nº 11.612/09, restando agora 70% dos recursos da cobrança para serem aplicados na respectiva bacia que os arrecadou. Ainda com relação ao FERHBA, a Lei nº 12.377/11 inclui o emprego dos recursos do Fundo para os estudos para operação de reservatórios e segurança de barragens. Com relação à Conferência Estadual do Meio Ambiente, esta Lei, faz algumas alterações em sua redação e enfatiza o fortalecimento da capacidade de articulação, coordenação e execução dos sistemas de meio ambiente nacional, estadual e municipal, além dos sistemas de gerenciamento de recursos hídricos nacional e estadual. Os demais instrumentos não são alterados na Lei 12.377/11, mantendo as determinações da lei 11.612/09.

No que se refere ao estágio atual de implementação da Política de Recursos Hídricos no Estado da Bahia, visando acompanhar a gestão de águas e adequar-se aos instrumentos de gestão, a Bahia conta com 27 unidades de gestão, denominadas Regiões de Planejamento e Gestão das Águas (RPGAs). O Estado possui 14 Comitês de Bacias Hidrográficas: Itapicuru; Leste; Paraguaçu; Recôncavo Norte e Inhambupe; Salitre; Verde-Jacaré; Contas; Corrente; Grande; Sobradinho; Peruípe, Itanhém e Jucuruçu; Frades, Baranhém e Santo Antônio; Recôncavo Sul; e Santo Onofre.

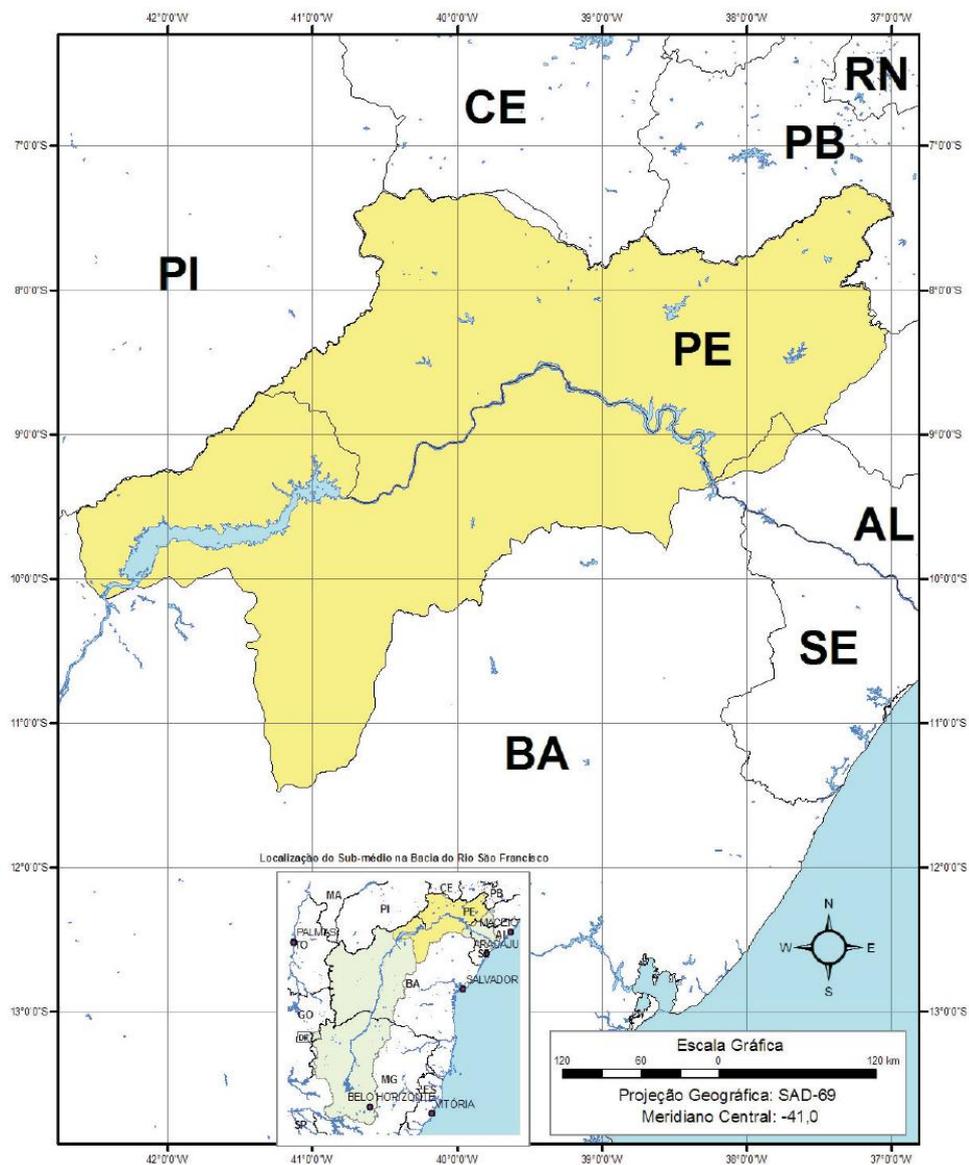
Lançado em 2005, o Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH), atualmente está passando por uma revisão, levando em consideração as mudanças ambientais, legais, econômicas e

sociais ocorridas ao longo dos últimos anos. Sua revisão também visa atender à necessidade de promover a participação do poder público, dos usuários das águas e da sociedade civil, em face da gestão descentralizada das águas. Quanto à implementação dos instrumentos de gestão, somente a cobrança pelo uso dos recursos hídricos ainda não foi implementada no Estado.

3 MANGICULTURA NO SUBMÉDIO DO VALE DO SÃO FRANCISCO

O Submédio do Vale do São Francisco (FIGURA 6) abrange as áreas dos Estados da Bahia e de Pernambuco, estendendo-se da cidade de Remanso até Paulo Afonso (BA), e incluindo as sub-bacias dos rios Pajeú, Tourão e Vargem, além da sub-bacia do rio Moxotó, último afluente da margem esquerda. O clima predominante é o semiárido com temperatura média anual de 27°C, a evaporação é da ordem de 3.000mm anuais, a precipitação pluviométrica média anual chega a 350mm na região de Juazeiro-BA/Petrolina-PE (CODEVASF, 2010). A vegetação de caatinga é predominante em quase toda a área.

Figura 6 – Localização do Submédio do Vale do São Francisco



Fonte: MEDEIROS; KILL, 2008

A dinâmica econômica do Submédio do Vale do São Francisco³ é promovida pela fruticultura⁴ irrigada. Nessa região do Vale está concentrado o maior polo de fruticultura irrigada do Brasil, o polo de irrigação Juazeiro-BA/Petrolina-PE. De acordo com Cunha e outros (2008), estudos de solos realizados pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), na década de 90, identificaram várias áreas no Submédio do Vale do São Francisco com grande potencial para o desenvolvimento da agricultura irrigada. Segundo os autores, na margem esquerda do rio, predominam solos de textura arenosa a média, enquanto na margem direita, são das classes média a muito argilosa. E, nestas áreas, encontram-se implantados projetos de irrigação públicos e privados, totalizando 80.000 hectares (CUNHA *et al.*, 2008). Senador Nilo Coelho, Bebedouro, no município de Petrolina, Tourão, Mandacaru, Maniçoba e Curaçá, município de Juazeiro, são projetos de irrigação públicos presentes na área.

Segundo Silva e Correia (2004), no polo de irrigação Juazeiro-BA/Petrolina-PE, principal polo frutícola do país, os perímetros irrigados possuem duas realidades distintas: a dos agricultores familiares, que possuem lotes de 6 a 10 ha, com produção voltada, principalmente, para o mercado local e interno, e a dos empresários, com áreas iguais ou superiores a 50 ha, cuja produção é direcionada, principalmente, para exportação. Nesse contexto no que se refere à importância econômica e social da mangueira na região semiárida, em questão, os autores ressaltam que a cultura é cultivada por diferentes estratos de produtores. Há significativa participação dos pequenos produtores que ainda produzem de forma extensiva as variedades locais ou primitivas e, principalmente dos pequenos fruticultores dos projetos públicos de irrigação, que plantam as variedades “tipo exportação” para abastecimento doméstico (SILVA; CORREIA, 2004). A maior parte da produção está concentrada nos estabelecimentos dos médios e grandes produtores instalados nos projetos públicos ou nas propriedades dos polos frutícolas situados na região.

³ Para fins de análise, ao se referir ao Submédio do Vale do São Francisco, o presente estudo estará utilizando informações referentes aos municípios de Juazeiro-BA e Petrolina-PE, integrantes do principal polo de fruticultura irrigada do país.

⁴ A região do Submédio do Vale do São Francisco conta com um Arranjo Produtivo Local (APL) de fruticultura com, aproximadamente, 8.000 unidades produtivas compostas por grandes, médias e pequenas empresas agrícolas e propriedades da agricultura familiar (BAHIA, 2008). O APL abrange uma área de 46.651 Km² e englobando os municípios de Juazeiro/BA, Curaçá/BA, Sento Sé/BA, Sobradinho/BA, Casa Nova/BA, Petrolina/PE, Lagoa Grande/PE, Santa Maria da Boa Vista/PE e Orocó/PE (BAHIA, 2008).

3.1 O CULTIVO DA MANGUEIRA

A manga (*Mangifera indica L.*) é uma fruta tropical, muito popular e altamente produtiva que pode ter se originado na Índia, espalhando-se para outras partes do mundo, atestando a sua vasta adaptabilidade (OKYEREH, 2009). A mangicultura no Brasil, historicamente, foi praticada em moldes extensivos, sendo comum o plantio em áreas esparsas, em quintais residências e chácaras e nas pequenas propriedades desprovidas de tecnologia apropriada (SILVA; CORREIA, 2004). A exploração econômica da espécie sustentava-se quase exclusivamente no extrativismo das variedades denominadas nativas ou crioulas, tais como Bourbon, Rosa, Espada, Coquinho e Ouro, voltadas para o mercado interno (LIMA NETO, 2009). Entretanto, nos últimos anos, o perfil da atividade se alterou abruptamente com a implantação de grandes áreas com novas variedades de manga – Tommy Atkins, Haden e Keitt – de comprovada aceitação pelo mercado externo.

O cultivo da mangueira no Brasil pode, portanto, ser dividido em duas fases distintas: a primeira, caracterizada pelos plantios realizados de forma extensiva, com variedades locais, desprovidos de tecnologias voltados para o mercado interno; e a segunda caracterizada pelo elevado nível tecnológico empregado no manejo da cultura, tais como irrigação, indução floral, variedades melhoradas e pela conquista da participação nacional dos vários mercados internacionais, destacada principalmente pela região do Submédio do Vale do São Francisco (SILVA; CORREIA, 2004; LIMA NETO, 2009).

No Brasil, a manga é cultivada em todas as regiões do país, com destaque para o Nordeste e para o Sudeste. Os dados da Tabela 1 revelam crescimento da área cultivada de manga apenas na região Nordeste, em detrimento das regiões Sudeste, Sul, Norte e Centro-Oeste, no período de 2002 a 2012. Quanto à quantidade produzida, a produção nacional de manga, em 2012, de acordo com o (IBGE, 2012) foi de 1.175.735 toneladas, em 73.310 hectares. As regiões Norte e Centro-Oeste apresentaram produção decrescente em 2012, -88,6% e -70,8%, respectivamente. A região Sudeste, que em 2002 detinha 32% da produção de manga no país, revelou um crescimento de 51% na quantidade produzida, de 2002 a 2012. O Estado de São Paulo se destaca na produção da mangueira na região, respondendo por 62%. O valor da produção de manga na região Nordeste correspondeu a R\$ 426.031 milhões, em 2012, aproximadamente, 65% do valor total no país (PAM; IBGE, 2012).

Tabela 1 - Área plantada e colhida, quantidade produzida e valor da produção de manga no Brasil, por região, 2002-2012

Brasil e Regiões	Área plantada (ha)		Área colhida (ha)		Quantidade produzida (t)		Produtividade (t/ha)	
	2002	2012	2002	2012	2002	2012	2002	2012
Brasil	67 591	73 690	66 676	73 310	842 349	1 175 735	12,63	16,04
Norte	1 476	324	1 450	317	18 670	2 132	12,88	6,73
Nordeste	37 254	50 533	37 191	50 169	551 764	782 365	14,84	15,59
Sudeste	26 279	21 835	25 528	21 826	249 948	377 819	9,80	17,31
Sul	821	687	813	687	9 132	9 674	11,23	14,08
Centro-Oeste	1 761	311	1 694	311	12 835	3 745	7,58	12,04

Fonte: Elaboração própria, 2014. Baseado em dados do IBGE, 2002 e 2012

No Nordeste, todos os estados cultivam a manga, em especial nas áreas irrigadas da região semiárida, que apresentam excelentes condições para o desenvolvimento da cultura, obtenção de elevada produtividade e qualidade dos frutos. Em 2002, a área cultivada de manga, nessa região, representou 55% da área cultivada no país e revelou um crescimento da ordem de 36% no período compreendido entre os anos 2002 e 2012 (TABELA 1). As principais áreas cultivadas de manga da região estão localizadas nos estados da Bahia e Pernambuco, que participaram, respectivamente, com 35% e 15%, em 2012.

Na Tabela 2 tem-se um *ranking* dos principais estados produtores de manga do país, segundo dados da pesquisa sobre a Produção Agrícola Municipal (PAM/IBGE) de 2012. Observa-se que dentre os dez maiores produtores, sete são estados da região Nordeste, maior produtora do país. Os estados da Bahia e de Pernambuco, que tem parte de seus territórios pertencentes à região do Submédio do Vale do São Francisco, área propícia ao cultivo da mangueira, respondem por metade da área cultivada de manga no país. A Bahia destaca-se como o maior produtor nacional, com 36% da produção nacional, mesmo tendo apresentado queda na produção em relação ao ano anterior de 19%. Os estados de São Paulo e Pernambuco, segundo e terceiro maiores produtores de manga do país, produziram 234.380 e 226.921 toneladas de manga, respectivamente, em 2012. São Paulo detém aproximadamente 20% da produção nacional e Pernambuco 19%.

Tabela 2 - Participação na produção nacional de Manga, segundo a importância dos principais Estados produtores - 2012

Brasil e Estados	Área plantada (ha)	Área colhida (ha)	Quantidade produzida (t)	Produtividade (t/ha)	Varição da produção em relação ao ano anterior (%)	Participação no total da produção nacional (%)	Valor (Mil reais)
Brasil	73 690	73 310	1 175 735	16,04	-5,9	100,0	660 159
Bahia	25 888	25 661	422 763	16,47	-19,1	36,0	182 867
São Paulo	13 024	13 015	234 380	18,01	3,1	19,9	115 966
Pernambuco	11 272	11 257	226 921	20,16	5,3	19,3	168 946
Minas Gerais	7 489	7 489	123 359	16,47	13,6	10,5	92 838
Ceará	5 262	5 262	43 138	8,20	-10,8	3,7	19 801
Rio Grande do Norte	2 880	2 876	38 167	13,27	7,0	3,2	26 015
Paraíba	1 751	1 751	12 199	6,97	-44,0	1,0	6 328
Sergipe	1 030	1 012	21 325	21,07	37,1	1,8	14 664
Piauí	1 023	1 023	9 499	9,29	-9,4	0,8	3 698
Espírito Santo	982	982	13 572	13,82	3,6	1,2	7 815
Demais Estados	3 089	2 982	30 412	10,20	-	2,6	21 223

Fonte: Elaboração própria, 2014. Baseado em dados do IBGE, 2012

Os maiores municípios produtores de manga do país são elencados na Tabela 2. Nos Estados da Bahia, Pernambuco e São Paulo encontram-se os principais municípios produtores de manga do país. Os polos de Juazeiro-BA/ Petrolina/PE (Submédio do Vale do São Francisco), Livramento de Nossa Senhora e Dom Basílio (BA), Morro Alto (SP) e Taquaritinga (SP) são responsáveis pelas exportações brasileiras e pela quase totalidade do abastecimento interno. Conforme demonstra a Tabela 3, em Juazeiro, Livramento de Nossa Senhora e Dom Basílio (BA) e Taquaritinga (SP) houve retração de 3,4%, 57,1% , 31,4% e 12%, respectivamente. Enquanto isso, Petrolina (PE) e Monte Alto (SP) cresceram 10,3% e 2,6%, respectivamente. Casa Nova (BA) e Fernando Prates (SP) foram destaques, em 2012, com aumento na produção de 42,9% e 93,1%.

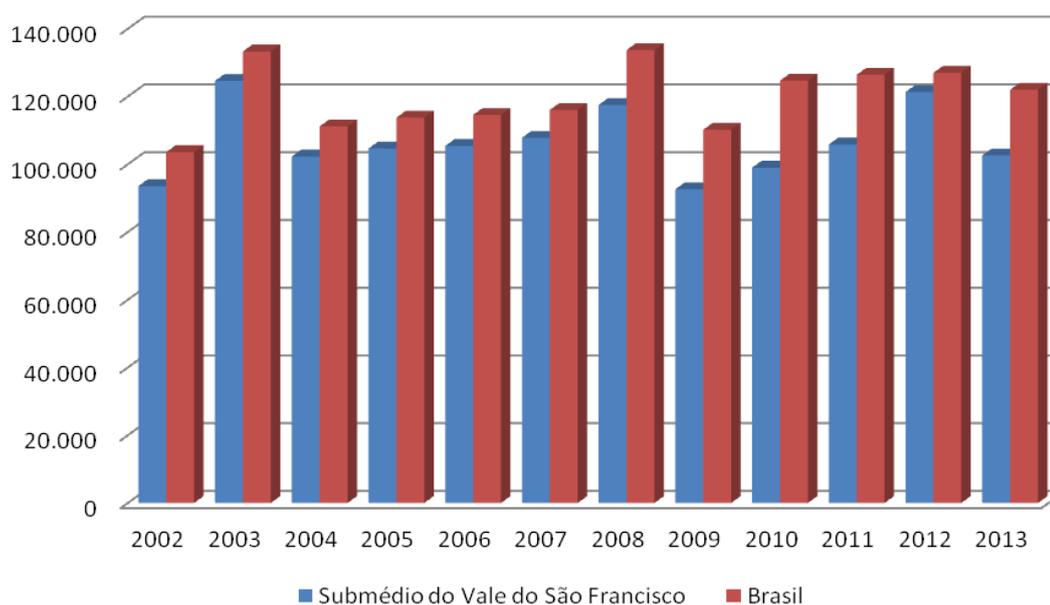
Tabela 3 - Participação na produção nacional de Manga, segundo a importância dos principais Municípios produtores - 2012

Brasil e Municípios	Área plantada (ha)	Quantidade produzida (t)	Varição da produção em relação ao ano anterior (%)	Participação no total da produção nacional (%)
Brasil	73 690	1 175 735	-5,9	100,0
Juazeiro – BA	8 210	205 250	-3,4	17,5
Petrolina – PE	7 900	173 800	10,3	14,8
Livramento de Nossa Senhora – BA	6 000	54 000	-57,1	4,6
Dom Basílio – BA	4 000	36 000	-31,4	3,1
Monte Alto – SP	2 500	40 000	2,6	3,4
Casa Nova – BA	1 723	43 075	42,9	3,7
Fernando Prestes – SP	1 320	30 194	93,1	2,6
Santa Maria da Boa Vista – PE	1 300	24 700	2,9	2,1
Taquaritinga – SP	1 100	27 500	-12,0	2,3
Cândido Rodrigues – SP	810	20 250	0,0	1,7

Fonte: Elaboração própria, 2014. Baseado em dados do IBGE, 2012

A Figura 7 apresenta a evolução das exportações de mangas, em toneladas, do Submédio do Vale do São Francisco em relação às exportações brasileiras, no período compreendido entre os anos de 2002 e 2013. Observa-se na Figura 13, ao longo dos últimos doze anos o quanto significativa é a participação do polo nas exportações nacionais de manga. No ano de 2013, 102.600 toneladas da produção do Submédio do Vale do São Francisco foram escoadas para consumo externo, o que representa 94% das exportações brasileiras de manga.

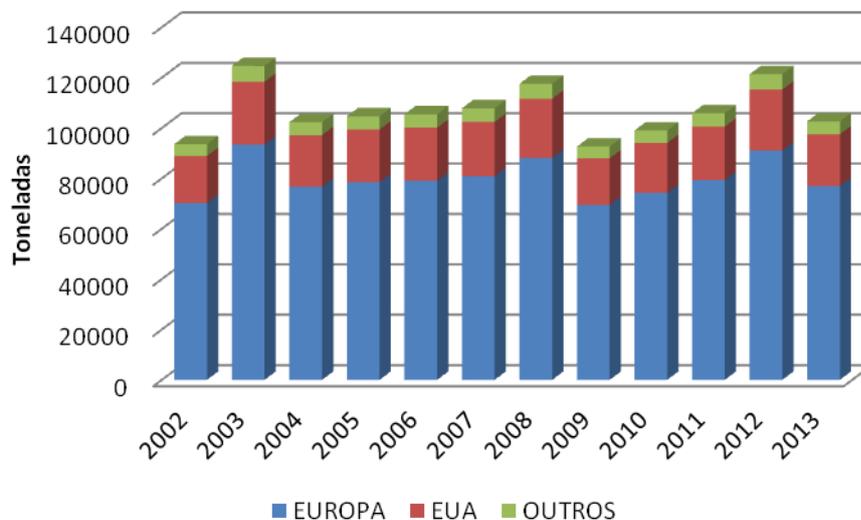
Figura 7 – Evolução das exportações de mangas do Submédio do Vale do São Francisco e do Brasil, em toneladas



Fonte: Elaboração própria, 2014. baseado em dados do Aliceweb/BRASIL; VALEXPORT, 2014

Quanto ao destino das exportações de manga do Submédio do Vale do São Francisco, as principais regiões importadoras e suas participações são apresentadas na Figura 8. Os países europeus (Holanda, Espanha, Portugal, Reino Unido) possuem maior participação no destino das exportações de manga do Submédio do Vale do São Francisco, seguidos dos Estados Unidos.

Figura 8 – Principais destinos das exportações de mangas do Submédio do Vale do São Francisco de 2002 a 2013



Fonte: Elaboração própria, 2014. Baseado em dados da VALEXPORT, 2014

De acordo com Branco (2014), apesar de exportar durante o ano todo, a janela de mercado da manga é bem definida na região do Submédio do Vale do São Francisco. O período de maior volume exportado se inicia em setembro e segue até meados de novembro. A maior comercialização da fruta se dá no mês de outubro, pois os principais exportadores estão na entressafra, tornando reduzido o número de concorrentes no mercado e possibilitando aos exportadores da Região cobrar preços mais altos (BRANCO, 2014).

Diante do exposto, nota-se que a cultura da manga tem especial importância econômica e social, na medida em que envolve um volume anual de negócios voltados tanto o mercado interno, quanto para o externo, destacando-se entre as demais culturas irrigadas presentes na Região. E, de acordo com Silva e Correia (2004, p. 3), “embora não apresente um coeficiente de geração de empregos diretos, quando comparado com outras fruteiras, mas confere oportunidades de ocupações que se traduzem em empregos indiretos”.

4 ÁGUA VIRTUAL E PEGADA HÍDRICA

A água é um bem estratégico para a sobrevivência da humanidade. As pressões decorrentes do crescimento populacional, do aumento da produção de alimentos, do desenvolvimento de fontes de energia dependentes de água, e do crescimento econômico impulsionaram o consumo de água. Dessa forma, a crescente demanda por água e as limitadas possibilidades de incrementar sua oferta impõem novas práticas e ferramentas de gestão que promovam o uso eficiente da água na distribuição, no consumo e no processo produtivo, uma melhor alocação e que incentivem a racionalização do uso da água.

De acordo com Empinotti e Jacobi (2012, p. 9), nos dias atuais, um dos grandes desafios do sistema de gestão está no “desenvolvimento de práticas de gestão pautadas pela promoção da eficiência no uso da água, garantia do uso sustentável da água e necessidade de promover corresponsabilização face à disponibilidade hídrica”. Nesse sentido, indicadores de uso da água passaram a ser fundamentais na promoção e aplicação de práticas que levem ao seu uso eficiente (EMPINOTTI; JACOBI, 2012). Assim, novos conceitos vêm adquirindo destaque no cenário científico, como a água virtual e a pegada hídrica. Ambos atuam como indicadores do uso e apropriação da água, sendo que a AV na perspectiva da produção e a PH na perspectiva do consumo (VELÁZQUEZ, 2009; VELÁZQUEZ *et al.*, 2011).

Carmo e outros (2007) destacam que a adoção da água virtual e da pegada hídrica como opção de políticas, a fim de mitigar a pressão sobre a água e para atuarem como medidas de controle. Ao articular o conceito de água virtual à legislação brasileira sobre gestão de águas e associar os riscos que se configuram em relação à água, os autores destacam a necessidade da criação de um extenso arcabouço legal para proteção e racionalização do uso da água. Para os autores, este arcabouço tem na cobrança pelo uso da água um dos seus principais instrumentos de gestão. No entanto ressaltam a dificuldade, no caso do Brasil, especialmente do setor agrícola em se submeter a essa legislação, principalmente no que se refere à cobrança. Considerando que o setor agrícola é o principal usuário de água do país e está cada vez mais voltado para o mercado externo, este fato é relevante e fonte de conflito entre os diversos setores consumidores (CARMO *et al.*, 2007). Além disso, a existência de pontos de captação de água sem a devida outorga do Estado, também é um fator a ser considerado na cobrança pelo uso da água.

No presente Capítulo são tratados os conceitos de água virtual e pegada hídrica, suas implicações e experiências. O uso desses indicadores não tem sido incorporado na gestão de recursos hídricos no Brasil, sendo que, o instrumento de gestão associado à racionalização do uso da água existente no país é a cobrança pelo uso da água.

4.1 ÁGUA VIRTUAL

O conceito de água virtual foi elaborado pela primeira vez pelo Professor John Antony Allan, do Departamento de Geografia do *King's College London*, no início da década de 1990. Anteriormente, o professor utilizou o termo “*embedded water*”, mas este acabou não obtendo muito impacto e o reconhecimento dos gestores de recursos hídricos (SEIXAS, 2011; CARMO *et al.*, 2007). No entanto, mesmo em segundo plano, o termo ainda apareceu em um trabalho posterior. Allan (1998) mostra uma relação entre água e alimento “*water-food nexus*” para tratar da demanda de água necessária para produzir alimentos, destacando dois fatores que impulsionam a demanda de água na economia: tendências demográficas e tendências nos padrões de consumo de alimentos.

Quase uma década depois é que o conceito de água virtual obteve reconhecimento mundial. Em dezembro de 2002 houve a primeira reunião internacional sobre o tema em Delft, Países Baixos e, em março de 2003, no Terceiro Fórum Mundial da Água no Japão, houve uma seção dedicada ao comércio de água virtual (COLLADO; SAAVEDRA, 2010). Todavia, o conceito de água virtual torna-se mais operacional com a realização de um trabalho pelo grupo liderado por A. Y. Hoekstra da Universidade de Twente, na Holanda, e a UNESCO – *Institute for Water Education (IWE)* que permitiu a identificação e a quantificação dos fluxos de comércio de água virtual entre os países (HOEKSTRA; HUNG, 2002).

De acordo com Allan (1998), água virtual é a água embutida em *commodities*, tais como grãos, por exemplo. Utilizando o termo introduzido por Allan, Hoekstra e Hung (2002) definem a água virtual como a água utilizada no processo de produção de um produto agrícola ou industrial. Sendo assim, segundo os autores, um país, escasso em água e que deseje diminuir a pressão sobre os recursos hídricos da nação, pode querer importar produtos que exigem grande quantidade de água na sua produção (produtos intensivos em água) e exportar produtos que exigem menor quantidade de água. Isso é chamado de comércio de água virtual entre nações. Nesse sentido, Seixas (2011) afirma que a água virtual está intimamente

relacionada com a utilização dos recursos hídricos e é um conceito que permite relacionar água, alimentos e comércio internacional.

Aldaya e outros (2010a) exploram, a partir de uma perspectiva econômica e hidrológica, as conexões entre o uso da água, a produção de alimentos e a gestão ambiental na região da Mancha Ocidental na Espanha, centrando-se no setor agrícola, que responde por 95% das utilizações de água da região. Velázquez (2007) mostra as relações entre a produção agrícola e o intercâmbio comercial com a quantidade de água que foi consumida, na região da Andaluzia, na Espanha. Em seu estudo, Velázquez (2007) conclui que o comércio na Andaluzia é baseado na exportação de água por meio de produtos intensivos em água (batatas, verduras, frutas cítricas, principalmente) e na importação de água por meio de produtos não intensivos (cereais, dentre outros). Ou seja, a Andaluzia é especializada na produção de bens agrícolas que são posteriormente exportados e que exigem grande quantidade de água para sua produção. O que, segundo a autora, é uma contradição, pois fere a lógica da sustentabilidade ambiental, uma vez que a região sofre com escassez de água.

Aldaya e Llamas (2008) também realizaram um estudo envolvendo água virtual numa região semiárida que sofre escassez de água, a bacia hidrográfica do rio Guadiana, compartilhada pela Espanha e por Portugal. Neste estudo, os autores destacam também o setor agrícola que consome cerca de 95% dos recursos hídricos da região. Brown (2009), ainda no âmbito de bacia hidrográfica determina a quantidade de água virtual necessária para a produção de diferentes produtos vegetais e animais nas bacias do *Lower Fraser Valley* e do *Okanagan*, no Canadá. Segundo o autor a avaliação da água virtual nessas duas bacias irá servir de base para o desenvolvimento de uma estratégia de gestão de conservação de água e ajudará os tomadores de decisão a avaliar, em termos quantitativos, que atividades são mais intensivas em água e os *trade-offs* da conservação de água. Dantas (2012, p. 15-16), nesse sentido, destaca que:

[...] sob a perspectiva da proteção dos recursos hídricos em determinada área – em particular se a área sofre de escassez de água –, será importante saber quanta água é usada para produzir bens de exportação e quanta água será importada virtualmente. Dessa forma, poder-se-á perceber que bens devem ser produzidos e que bens devem ser importados. Ou seja, será interessante saber qual o “ponto de equilíbrio de água virtual” de determinada área.

Tais afirmações corroboram com a essência do conceito de água virtual que o professor Allan (1997; 1998) sugeriu, em seus estudos, a possibilidade de importar água virtual (em particular, quando da importação de alimentos) como parte da solução para as economias do Oriente Médio frente aos problemas de escassez de água enfrentados na região. Segundo Allan (1997; 1998), no que diz respeito à água, a desvantagem comparativa em termos econômicos do Oriente Médio e Norte da África é um caso extremo e clássico, pois estas regiões são extremamente áridas e enfrentam sérios problemas relacionados à escassez de água. Nesse sentido, a importação de água virtual seria uma forma de aliviar a pressão exercida sobre os recursos hídricos escassos dos países das regiões em questão e uma fonte alternativa de abastecimento de água (ALLAN, 2003; HOEKSTRA, 2003; DANTAS, 2012).

Para Allan (1998, 2003) o comércio de água virtual pode ser um instrumento para resolver problemas geopolíticos e até mesmo evitar guerras pela água, esta seria a dimensão política do conceito. Quanto à dimensão econômica, segundo o autor, o argumento econômico por trás do comércio de água virtual é que, de acordo com a teoria do comércio internacional, as nações deveriam exportar produtos nos quais possuem vantagem comparativa na produção e importar produtos nos quais possuem desvantagem comparativa (ALLAN, 1997; WICHELNS, 2001; HOEKSTRA, 2003). Nesse contexto, Wichelns (2001) descreve a água virtual como uma aplicação da vantagem comparativa, com particular ênfase nos recursos hídricos. Isto é, os países em regiões carentes de água não podem ganhar com o comércio através da importação de culturas intensivas em água, enquanto estiverem usando seu abastecimento de água limitado para atividades que geram maiores valores incrementais. Nesse sentido, para o professor Allan (1998), o papel do comércio internacional seria o de mover água virtual de regiões comparativamente favorecidas, onde há um excedente de água no solo para regiões comparativamente desfavorecidas, como a região do Oriente Médio e Norte da África, onde a água é escassa.

Velázquez (2008, p.11) também associa o conceito de água virtual (AV) ao Princípio das vantagens comparativas e aponta que:

[...] o conceito de AV se baseia na ideia de que um país com abundância de água se especializará na produção de bens e serviços intensivos neste recurso; e, inversamente, aqueles outros países com escassez de água, se especializarão em bens e serviços que necessitam de pouca água para sua produção. Assim, aqueles países com escassez de água se tornam vulneráveis com relação ao resto do mundo no que diz respeito àqueles bens de que necessitam, e que não haveriam de produzir se seguissem as

recomendações deste princípio. Isso não seria um problema, se tais bens não constituem a base da dieta alimentar de alguns países [...].

Segundo a autora, caso os países deixassem em segundo plano a produção dos produtos que são base de sua dieta alimentar ocorreria uma relação de dependência a um produto essencial. E, isso, por sua vez, poderia ser uma forte limitação antes de levantar as regras de negociação baseadas na água virtual, “a geração de dependência da importação de alimentos tem provocado muito ceticismo e é uma das principais razões porque há rejeição ao conceito de água virtual” (COLLADO; SAAVEDRA, 2010, p. 19). Já Yang e Zehnder (2007) consideraram que a água virtual não pode nem deve ser completamente representada pela noção de vantagem comparativa nem simplesmente ser considerada como uma metáfora. Para eles, a água virtual se refere à escassez de água, à segurança alimentar e ao nexo entre o comércio e o contexto dos sistemas naturais, socioeconômicos e políticos das regiões, países e do mundo todo. É um conceito de múltiplas facetas. Assim, a estratégia de água virtual deve ser um componente agregado à gestão integrada de recursos hídricos (YANG; ZEHNDER, 2007).

Wichelns (2010) destaca que a discussão da perspectiva da utilização da água virtual deve se dar num quadro mais amplo que inclui outros objetivos, além das exportações de água embutidas nos produtos, onde os decisores políticos, devem considerar a segurança alimentar da nação, o trabalho, os meios de subsistência e outros assuntos públicos que não estão inclusos no cálculo da água virtual (WICHELNS, 2010).

Wichelns (2003) ainda ressalta que o conceito de água virtual não é por si só, um programa operacional. E, que nações que desejem utilizar a ferramenta água virtual no que diz respeito à produção agrícola, desenvolvimento industrial e comércio internacional terão de identificar as políticas públicas que motivam os agricultores e outros empresários a escolher processos produtivos e atividades correlatas consistentes com essa ferramenta.

No que diz respeito aos cálculos envolvidos na comercialização da água virtual no setor agrícola, para estimar esses valores deve-se considerar a necessidade de água das culturas, a disponibilidade de água, o rendimento das culturas, além das características da região produtora e as características tecnológicas e ambientais. O cálculo dos fluxos de comércio de água virtual depende dos fatores citados, anteriormente, e, é necessário conhecer a quantidade

de água requerida na produção dos bens e serviços consumidos pela população de um país, conforme versa a pegada hídrica. Dessa forma, agora, será abordado esse conceito, para em seguida tratar os fluxos de água virtual entre nações.

4.2 PEGADA HÍDRICA

O conceito de pegada hídrica foi introduzido, em 2002, por Arjen Y. Hoekstra, professor de Gestão da Água da Universidade de *Twente*, no Encontro Internacional de Especialistas em Comércio de Água Virtual que foi realizado em Delft, Holanda (HOEKSTRA, 2003). Ao tratar do conceito de água virtual, o autor mencionou que este tem dois principais tipos de uso prático: o comércio de água virtual como um instrumento para alcançar a segurança hídrica e uso eficiente da água; e, as pegadas hídricas para fazer a ligação entre os padrões de consumo e os impactos sobre a água. “Conhecendo o teor de água virtual dos produtos cria-se a consciência dos volumes de água necessários para produzir os vários bens, fornecendo assim uma noção de que bens mais impactam sobre o sistema de água e que economia de água poderá ser realizada” (HOEKSTRA, 2003, p. 14).

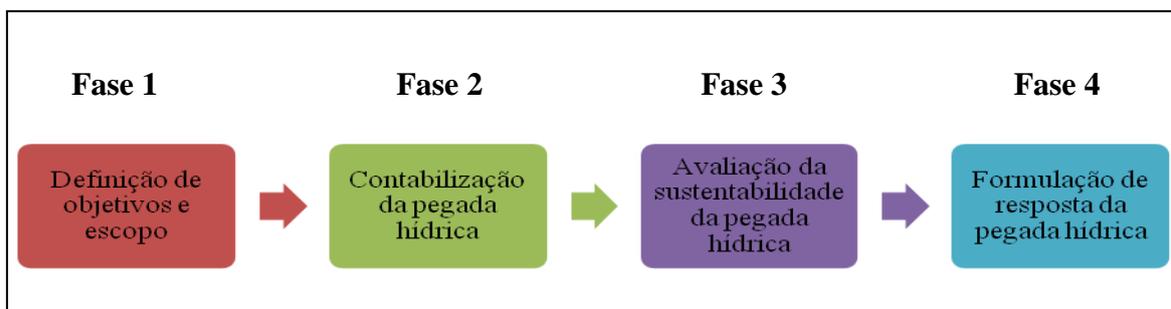
A ideia da pegada hídrica baseia-se no conceito de água virtual cunhado por Allan (1998) e fundamenta-se, principalmente, na busca “para ilustrar as relações ocultas entre o consumo humano e uso da água e entre o comércio e a gestão de recursos hídricos globais” (HOEKSTRA, 2009, p. 1964). Dessa forma, a pegada hídrica é definida como o teor de água virtual, ou água embutida, incorporado aos bens e serviços consumidos por um ou mais indivíduos de uma região (HOEKSTRA; HUNG, 2002). A PH é um indicador abrangente da apropriação dos recursos hídricos, em oposição ao conceito tradicional de mensuração da captação de água, pois: (i) contabiliza a água de chuva e o volume de água poluído por efluentes e não apenas a captação de água superficial ou subterrânea; (ii) considera o uso da água ao longo da cadeia produtiva; e, (iii) desconta a água que retornar para o local de captação com boa qualidade (ARAÚJO, 2011). Devido a isso, a PH também é considerada como um indicador multidimensional.

Nesse contexto, conforme Hoekstra e outros (2011), afirmam que a pegada hídrica pode ser fundamental para ajudar a compreender as atividades e os produtos relacionados com a escassez de água, assim como os impactos da poluição gerados, para se buscar medidas a fim de garantir o uso sustentável da água doce. Os autores ainda ressaltam que, como ferramenta,

uma avaliação da pegada hídrica fornece uma visão, não apresenta o que deve ser feito, mas ajuda a entender o que pode ser feito.

Uma avaliação completa da pegada hídrica é composta por quatro fases distintas (FIGURA 9). Na primeira fase, definem-se claramente os objetivos e o escopo da análise. Deve-se ressaltar o tipo de detalhe que se busca: sensibilização, identificação de *hotspots* formulação de políticas e o estabelecimento de metas quantitativas de redução da pegada hídrica.

Figura 9 – Fases de avaliação da pegada hídrica



Fonte: HOEKSTRA e outros, 2011 (Adaptado)

Já a fase seguinte, contabilidade da pegada hídrica, é a aquela onde os dados são coletados e os cálculos envolvendo todos os componentes da pegada hídrica total são desenvolvidos, conforme, será visto na próxima seção. Após a fase de contabilidade, ocorre a avaliação da sustentabilidade, em que a PH é avaliada a partir de uma perspectiva ambiental, bem como do ponto de vista social e econômico. Na fase final são formuladas as opções de resposta, estratégias ou políticas. De acordo com Hoekstra e outros (2011) para avaliação da pegada hídrica não é necessária a inclusão de todas as fases num estudo. Na primeira fase de definição dos objetivos, pode-se optar por concentrar-se apenas na contabilidade ou parar após a fase de avaliação da sustentabilidade, deixando a discussão sobre a resposta para outro momento. Pois, na prática, segundo os autores, este modelo de quatro fases é mais uma orientação do que uma norma fixa.

A avaliação da pegada hídrica depende do foco de interesse, uma vez que, os estudos podem ter vários propósitos e serem aplicados em contextos diferentes. Por isso é importante começar especificando em que tipo de objetivos ou metas se pretende analisar. Segundo Hoekstra e outros (2011), pode-se desejar calcular a contribuição da pegada hídrica de um

produto, consumidor, comunidade, empresa ou de uma área geograficamente delimitada conforme demonstra o Quadro 1.

A pegada hídrica de um produto é o volume total de água doce que é usado diretamente, uso direto da água em operação, ou indiretamente, uso total dos recursos hídricos na cadeia de bens de produção (HOEKSTRA *et al.*, 2011;CHAPAGAIN; TICKNER, 2012).

A pegada hídrica de uma empresa (pegada hídrica corporativa ou organizacional) constitui-se de dois componentes principais: o operacional (direto), volume de água doce consumida ou poluída durante as operações; e, a cadeia de suprimentos (indireta), volume de água utilizado para a produção dos insumos.

Quadro 1 – Tipos de Pegada Hídrica

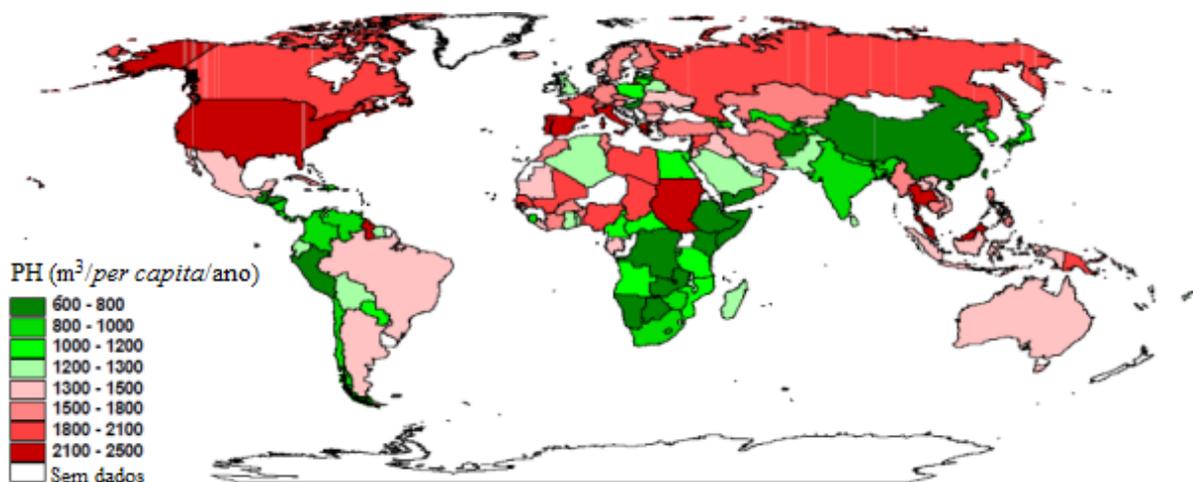
Tipos de Pegada Hídrica	Definição	Meta de avaliação
Pegada Hídrica de um produto	Soma das Pegadas Hídricas das etapas do processo de produção do produto.	Qual o produto a considerar? Um determinado tipo de produto ou toda uma categoria de produto?
Pegada Hídrica de um consumidor	Soma das Pegadas Hídricas de todos os produtos consumidos pelo consumidor.	Um consumidor individual ou consumidores dentro de um município região ou estado?
Pegada Hídrica de uma comunidade	Soma das Pegadas Hídricas individuais dos membros da comunidade.	Qual a comunidade?
Pegada Hídrica de uma empresa	Soma das Pegadas Hídricas dos produtos finais que a empresa produz.	Qual a empresa?
Pegada Hídrica de uma área geograficamente delimitada (município, província, estado, nação, bacia hidrográfica)	Soma das Pegadas Hídricas de todos os processos que ocorrem na área.	Qual é a área de interesse? Como a Pegada Hídrica dentro da área é reduzida com a importação de água virtual ou como aumenta com exportação? Como os recursos hídricos da região são alocados para diversos fins?

Fonte: HOEKSTRA e outros, 2011 (Adaptado)

Buscando o aumento da eficiência do uso da água nos processos produtivos, reduzir o impacto negativo sobre a qualidade da água presente em sua região de atuação e mostrar o seu impacto no meio ambiente, empresas como Marks & Spencer, Nestlé, Coca-Cola, C&A, Natura (CHAPAGAIN; TICKNER, 2012), Raissio, Lewis, PepsiCo, SABMiller e Unilever (EMPINOTTI; JACOBI, 2012; JACOBI; EMPINOTTI, 2013), utilizaram o método da pegada hídrica a nível de produto.

Quanto à pegada hídrica de uma área geograficamente delimitada de uma nação ou de uma bacia geográfica, por exemplo, muitos estudos têm sido realizados⁵. Chapagain e Hoekstra (2004) fizeram uma avaliação global das pegadas hídricas das nações estimando a pegada hídrica global em 7.450 Km³/ano, o que representa em média 1.240 m³ de água *per capita* por ano. De acordo com os autores, a Índia é o país com a maior pegada hídrica do mundo, 987 Km³/ano. Contudo, enquanto a Índia contribui com 17% da população mundial, as pessoas na Índia contribuem apenas com 980 m³/*per capita*/ano para a pegada hídrica global. A China, outro país com elevada densidade populacional, também têm uma pegada relativa. Mas é a população dos Estados Unidos que tem a maior pegada hídrica, 2.480 m³/*per capita*/ano. A Figura 10 ilustra a pegada hídrica *per capita* dos diferentes países, possibilitando assim uma visão global de sua distribuição no mundo. Os países com coloração vermelha registram uma pegada hídrica superior à média global, já os países em verde, por sua vez, são caracterizados por possuírem uma pegada hídrica inferior à média.

Figura 10 – Pegada hídrica *per capita* dos diversos países (m³/*per capita*/ano)



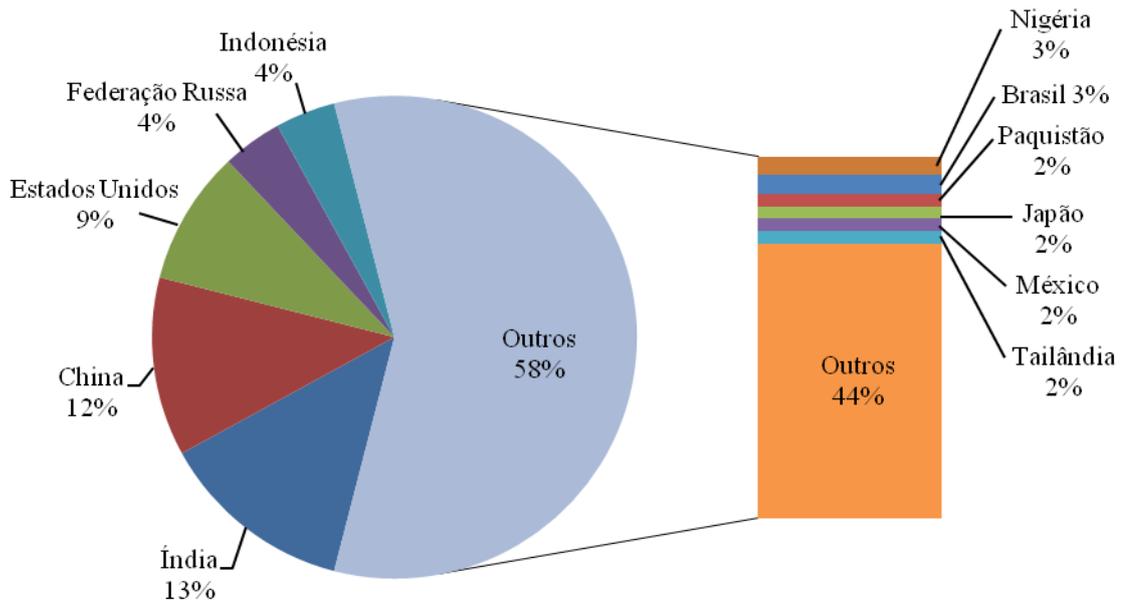
Fonte: CHAPAGAIN; HOEKSTRA, 2004

Os principais fatores diretos que determinam a pegada hídrica de um país são o volume de água, relacionado com rendimento nacional bruto, e o padrão de consumo, alto ou baixo consumo de um produto, o clima e as práticas agrícolas relacionadas à eficiência do uso da água e ao tipo cultivo (CHAPAGAIN; HOEKSTRA, 2004; HOEKSTRA; CHAPAGAIN,

⁵ Chapagain e Hoekstra (2004); Hoekstra e Chapagain (2006^a); Hoekstra e Chapagain (2006b); Van Oel e outros (2007); Casado e outros (2008); Aldaya e outros (2010); Collado e Saavedra (2010); Ercin e outros (2012); Zeng e outros (2012); Vanham e outros (2013), Zhuo e outros (2013); Dumont e outros (2013), dentre outros.

2006a). Segundo os autores, oito países – Índia, China, Estados Unidos, Federação Russa, Indonésia, Nigéria, Brasil e Paquistão - contribuem juntos com 50% para a pegada hídrica global total. Sendo a Índia (13%), a China (12%) e os EUA (9%) os maiores consumidores de recursos hídricos globais (FIGURA 11).

Figura 11 - Contribuição dos grandes consumidores para a pegada hídrica global



Fonte: HOEKSTRA; CHAPAGAIN, 2006a (Adaptado)

No entanto, deve-se ressaltar que a relevância destes estudos para a elaboração de políticas nacionais ainda é muito limitada, salvo em alguns países como a Espanha, país mais árido da União Européia (UE) (ALDAYA *et al.*, 2010b; ALDAYA; LLAMAS, 2008). Este país foi o primeiro da UE a adotar a avaliação da pegada hídrica na formulação de políticas governamentais. Em setembro de 2008, o Ministério do Meio Ambiente da Espanha aprovou uma regulação que inclui a análise da pegada hídrica dos diferentes setores socioeconômicos como critério técnico para a elaboração dos Planos de Gestão das Bacias Hidrográficas (ALDAYA *et al.*, 2010a; ALDAYA *et al.*, 2010b).

Aldaya e Llamas (2008) realizaram um estudo analisando a pegada hídrica da bacia hidrográfica transfronteiriça do rio Guadiana, localizada entre Espanha e Portugal, a análise se deu do lado espanhol da bacia. A pegada hídrica total da bacia foi em média 2.970 m³ de água

per capita por ano, sendo o setor de irrigação responsável por 95% do consumo de total de água (ALDAYA; LLAMAS, 2008).

4.2.1 Componentes da Pegada Hídrica

A pegada hídrica possui três componentes: água verde, água azul e água cinza. Enquanto um indicador multidimensional do uso da água, a PH divide os recursos hídricos de acordo com as distintas fontes de água utilizadas, como por exemplo, a água presente no solo e aquela para irrigação. Além de ser um subsídio para medir a poluição das águas.

Pegada Hídrica Verde

A pegada hídrica verde é um indicador do uso humano da água verde. Esta água refere-se à precipitação na superfície terrestre que não é escoada ou infiltrada, mas é armazenada no solo ou permanece temporariamente na superfície ou na vegetação. Eventualmente, esta parte da precipitação evapora ou transpira por meio das plantas. A água verde pode ser produtiva para o crescimento das culturas. No entanto, nem toda essa água pode ser absorvida pelas plantações, devido à evaporação do solo e porque nem todas as áreas ou períodos do ano são adequados para o crescimento das culturas (HOEKSTRA *et al.*, 2011).

A pegada hídrica verde refere-se ao volume de água da chuva consumido durante o processo de produção vegetal. Para os produtos oriundos da agricultura e da silvicultura, isto é particularmente relevante, referindo-se à evapotranspiração total de água da chuva pelas culturas e campos de cultivo mais a água incorporada nos produtos. Assim, obtém-se a pegada hídrica verde, expressa em volume por unidade de tempo, da seguinte forma:

$$PH_{verde} = \text{Evaporação da Água Verde} + \text{Incorporação da Água Verde} \quad (1)$$

O consumo de água verde na agricultura pode ser estimado utilizando fórmulas empíricas ou um modelo de cultura para estimar a evapotranspiração com base em dados de entrada sobre as características da cultura, do solo e do clima (HOEKSTRA *et al.*, 2011). Na seção 3.2.2, será apresentado mais detalhadamente como se pode estimar a pegada hídrica verde no crescimento de culturas.

Pegada Hídrica Azul

A pegada hídrica azul é um indicador do uso consuntivo dos recursos hídricos azuis, ou seja, águas superficiais (lagos e rios) e subterrâneas (HOEKSTRA *et al.*, 2011). O termo “uso consuntivo” diz respeito a um dos quatro casos seguintes:

1. A água que evapora;
2. A água incorporada ao produto;
3. A água que não retorna à mesma bacia hidrográfica ou vai para o oceano;
4. A água que não retorna no mesmo período; por exemplo, é retirada em um período de seca e retorna em um período de chuvas.

O primeiro caso, da evaporação da água, é geralmente o mais significativo. Por isso, muitas vezes, a água consumida é equiparada à evaporação, porém os outros três casos, quando relevantes, também devem ser incluídos. Toda evaporação relacionada a uma produção específica deve ser levada em consideração, incluindo a água que evapora durante o armazenamento de água (reservatórios de água), transportes (canais abertos), processamento, coleta e distribuição (HOEKSTRA *et al.*, 2011). Dessa forma, o uso consuntivo não significa que a água que se perde totalmente.

A água é um recurso renovável, mas isso não significa que ela possui disponibilidade ilimitada. A água dos rios e aquíferos pode ser usada para irrigação, fins industriais ou domésticos, no entanto em determinado período não se pode consumir mais água do que a disponível. Isso posto, a pegada hídrica azul mede a quantidade de água disponível que, em determinado período, é consumida. Assim, ela fornece uma medida da quantidade de água azul disponível consumida pelos seres humanos. E, os fluxos de águas subterrâneas e superficiais restantes, não consumidos são deixados para sustentar os ecossistemas. A pegada hídrica azul é calculada da seguinte forma:

$$PH_{\text{azul}} = \text{Evaporação da Água Azul} + \text{Incorporação da Água Azul} + \text{Fluxo de Retorno Perdido} \quad (2)$$

A unidade da pegada hídrica azul é o volume de água por unidade de tempo, por exemplo, dia mês ou ano. Quando dividida pela quantidade de produto originada de um processo, a pegada hídrica pode também ser expressa em termos de volume de água por unidade de produto.

É importante a distinção entre a pegada hídrica azul e a verde, pois os impactos hidrológicos, ambientais e sociais, bem como os custos de oportunidade do uso de águas superficiais e subterrâneas para a produção, diferem dos impactos e custos de utilização da água de chuva (FALKENMARK; ROCKSTRÖM, 2004; HOEKSTRA; CHAPAGAIN, 2010).

Pegada Hídrica Cinza

A pegada hídrica cinza está associada à poluição. É definida como o volume de água doce necessária para assimilar a carga de poluentes baseada nas concentrações naturais e nos padrões ambientais de qualidade da água existentes (HOEKSTRA *et al.*, 2011). Segundo os autores, o conceito de pegada hídrica cinza tem se expandido a partir do reconhecimento que o tamanho da poluição da água pode ser expresso em termos do volume de água necessária para diluir os poluentes tornando-os inofensivos. A ideia de expressar a poluição das águas em termos de um volume de água necessária para diluir os resíduos não é nova. Postel e outros (1996) aplicaram um fator de diluição para absorção de resíduos de 28 litros por segundo por mil habitantes. Chapagain e outros (2006) propuseram tornar o fator de diluição dependente do tipo de poluente e usar o padrão de qualidade ambiental da água por um determinado poluente como critério para quantificar a necessidade de diluição.

Nesse contexto, a pegada hídrica cinza⁶ é calculada dividindo-se a carga de poluente (L , medida em massa por hora) pela diferença entre o padrão de qualidade ambiental desse poluente (C_{max} , concentração de máxima aceitável, em massa por volume) e a sua concentração natural no corpo receptor de água (C_{nat} , em massa por volume):

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

A concentração natural num corpo d'água receptor é a concentração que ocorreria no corpo d'água caso não houvesse intervenções humanas na bacia hidrográfica. Admite-se que a C_{nat} será nula ($C_{nat} = 0$) quando substâncias de origem humana não estiverem presentes na água e quando as concentrações naturais não são conhecidas com precisão, mas estima-se que sejam baixas (HOEKSTRA *et al.*, 2011). Utiliza-se a concentração natural como referência e

⁶ Alguns estudos recentes que incluem a quantificação da pegada hídrica cinza são: Vanoel e outros (2009); Ercin e outros (2009); Mekonnen e Hoekstra (2010); Chapagain e Hoekstra, (2010); Bulsink e outros (2010); Freitas (2013); Kotsuka (2013).

não a concentração real, pois a pegada hídrica cinza é um indicador da capacidade de assimilação do corpo hídrico receptor. A capacidade de assimilação de um corpo receptor depende da diferença entre a concentração máxima permitida e concentração natural de uma substância. Segundo Hoekstra e outros (2011) se a concentração máxima permitida fosse comparada com a concentração real de uma substância, seria considerada a capacidade de assimilação remanescente que, obviamente, muda constantemente como uma função do nível real de poluição em um determinado momento.

Os cálculos da pegada hídrica cinza são realizados utilizando-se os padrões ambientais de qualidade da água para o corpo receptor, isto é, as normas referentes às concentrações máximas permitidas. Assim, uma PH cinza maior que zero não significa que os padrões ambientais de qualidade da água foram violados, mostra que parte da capacidade de assimilação já foi consumida. Enquanto a presença de água cinza calculada for menor que o fluxo das águas dos rios e águas subterrâneas existentes, ainda há água suficiente para diluir os poluentes. Entretanto, quando o valor da PH cinza calculada é igual ao fluxo de água, a concentração resultante coincidirá com os limites do padrão de qualidade da água. Já quando o efluente contém uma carga elevada de substâncias químicas, pode acontecer que a PH cinza seja maior que o fluxo de água existente. Isso ilustra que a poluição vai além da capacidade de assimilação do corpo receptor. O tratamento da água residual poderá zerar a pegada hídrica cinza, quando as concentrações de poluentes no efluente forem iguais ou menores do que as concentrações existentes na água que foi captada (HOEKSTRA *et al*, 2011; ARAÚJO, 2011).

De acordo com Chapagain e Tucker (2012), é importante ressaltar que nem toda água cinza é derivada da água azul. Segundo os autores, a agricultura dependente das águas pluviais tem pegada hídrica cinza devido à lixiviação causada pelas chuvas e destacam que uma boa gestão de irrigação pode reduzir o tamanho da PH cinza. Na próxima seção será detalhado o cálculo da pegada hídrica para produtos agrícolas que pode utilizar água azul ou água verde na irrigação.

4.2.2 Pegada Hídrica para produtos agrícolas

A agricultura desempenha um papel chave na produção de alimentos. O setor agrícola é o que mais consome água mundialmente (FAO, 2002). Os produtos associados a este setor em seu sistema de produção, muitas vezes, têm uma pegada hídrica significativa. Para todos esses

produtos, sobretudo, é relevante olhar para a pegada hídrica do processo de crescimento de uma cultura. A PH se aplica a culturas anuais e perenes. A quantificação da pegada hídrica para culturas agrícolas, no presente trabalho, segue a metodologia desenvolvida por Hoekstra e outros (2009; 2011). O cálculo da pegada hídrica total de um processo de crescimento de cultura é igual à soma dos componentes verde, azul e cinza, conforme demonstra a Equação 4.

$$PH_{total} = PH_{verde} + PH_{azul} + PH_{cinza} \quad (4)$$

Onde:

PH_{total} = Pegada Hídrica total de um processo de crescimento de cultura (m^3/t);
 PH_{verde} = Pegada Hídrica verde (m^3/t);
 PH_{azul} = Pegada Hídrica azul (m^3/t);
 PH_{cinza} = Pegada Hídrica cinza (m^3/t).

A pegada hídrica total de um processo de crescimento de cultura é representada em m^3/t e litros/kg.

4.2.2.1 Pegada Hídrica Verde

A pegada hídrica verde do processo de crescimento de uma cultura é calculada dividindo-se o consumo de água verde da cultura (C_{verde} , m^3/ha) pela sua produtividade (Y , t/ha):

$$PH_{verde} = \frac{C_{verde}}{Y} \quad (5)$$

O C_{verde} é calculado pelo acúmulo de evapotranspiração (ET) diária durante o período de crescimento completo:

$$C_{verde} = \alpha \times \sum_{d=1}^{dpc} ET_{verde} \quad (6)$$

Onde:

C_{verde} = Consumo de água verde (m^3/ha);
 ET_{verde} = Evapotranspiração de água verde (mm/dia);
 dpc = duração do período de crescimento (dias)
 α = fator de conversão
 d = dia do plantio

O fator $\alpha = 10$ é utilizado para converter volumes de água por superfície terrestre em mm/m³/ha. O somatório é feito ao longo do período de crescimento da cultura, a partir do dia do plantio (dia 1) até o dia da colheita. Pois, diferentes variedades de cultura podem ter diferenças substanciais na duração do período de crescimento e este fator pode influenciar significativamente o uso da água calculado. Para culturas permanentes deve-se considerar a ET durante todo o ano. A fim de explicar as diferenças da ET mais o tempo de vida completo de uma cultura permanente, deve-se olhar para a média anual de ET ao longo da vida útil da cultura. O uso da água verde representa o total de água pluvial evaporada da área durante o período de crescimento.

A ET de uma área pode ser medida ou estimada por meio de um modelo baseado em fórmulas empíricas. Como a medição da ET é cara e rara, em geral, estima-se a ET indiretamente por meio de um modelo que utiliza dados sobre o clima, propriedades do solo e características da cultura como entrada (HOEKSTRA *et al.*, 2011). Dentre os modelos mais utilizados para estimar a ET durante o crescimento da cultura, destacam-se: o EPIC (SHARPLEY; WILLIAMS, 1990); o CROPWAT 8.0, desenvolvido pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2010a), baseado no método descrito em Allen *et al* (2006), com a finalidade de calcular o suprimento de água necessário às áreas a serem irrigadas; e, o AQUACROP, especificamente pensado para estimar o crescimento das culturas e a ET sob condições de *déficit* hídrico (FAO, 2010b).

Dentre os modelos citados, o CROPWAT 8.0 da FAO é o mais utilizado para calcular as componentes verde e azul da pegada hídrica⁷, baseadas no cálculo da evapotranspiração verificada durante o crescimento da cultura. no cálculo da ET verificada durante o crescimento da cultura. O modelo CROPWAT 8.0 oferece duas opções alternativas para o cálculo da ET:

- a “*crop water requirements*”⁸ (CWR) que assume não haver limitações de água para o crescimento das culturas, ou seja, condições ideais. Calculam-se as necessidades de água das culturas (CWR) durante todo o período de crescimento em condições climáticas específicas, a precipitação efetiva durante o mesmo período e as exigências de irrigação;

⁷ O CROPWAT foi usado no cálculo da pegada hídrica por Aldaya e Llamas (2008), Aldaya e outros (2010a), Mekonnen e Hoekstra (2010), Chapagain e Hoekstra (2011), Kotsuka (2013).

⁸ Necessidade hídrica da cultura.

- a “*irrigation schedule option*”⁹ que inclui um balanço hídrico do solo, mantendo o teor de umidade do solo ao longo do tempo. Esta opção conduz a estimativas mais precisas, pois permite a especificação da irrigação real ao longo do período de crescimento. Também é a mais recomendada, sempre que existir informação crível, porque é aplicável a condições de cultivo ideais e não ideais.

Os dados exigidos pelo CROPWAT 8.0 estão relacionados com o clima, a cultura e o solo, conforme apresentado no Quadro 2:

Quadro 2 – Dados de entrada necessários para o cálculo da pegada hídrica azul e verde de uma cultura

	Dados	Unidade
Clima	Altitude Latitude Longitude Temperatura máxima Temperatura mínima Umidade Velocidade do vento Irradiação solar Precipitação	M ° ° °C °C % Km/dia hora mm
Cultura	Data do plantio Coeficientes de cultivo (Kc) Duração dos estágios de desenvolvimento (inicial, desenvolvimento, média-estação, estação final) Profundidade das raízes Fator de esgotamento (<i>critical depletion</i> factor p). Nível de umidade do solo que corresponde ao primeiro <i>stress</i> hídrico que afeta a evapotranspiração e a produção. Fator de resposta da produtividade (Ky, coeficiente de resposta de produtividade em função da redução da ETc gerada pela falta de água) Altura da cultura	dias m % M
Solo	Tipo de solo Capacidade de água disponível Taxa máxima de infiltração Profundidade máxima das raízes Esgotamento inicial (<i>initial depletion</i>) da umidade do solo	mm/m mm/dia cm %

Fonte: Elaboração própria, 2014

De acordo com Hoekstra e outros (2011), de preferência, o cálculo deve ser feito usando dados locais, mas quando estes não estiverem disponíveis, pode-se optar por trabalhar com

⁹ Opção de agendamento de irrigação.

dados de locais próximos ou com médias regionais ou nacionais. Os dados climáticos podem ser obtidos junto à estação meteorológica mais próxima à área do cultivo ou dentro da área produtora, em estudo, Caso haja dificuldade no levantamento, o banco de dados CLIMWAT 2.0 (FAO, 2010c) fornece médias dos dados climáticos de trinta anos no formato exigido pelo CROPWAT 8.0.

4.2.2.2 Pegada Hídrica Azul

A pegada hídrica azul do processo de crescimento de uma cultura é calculada dividindo-se o consumo de água azul da cultura (C_{azul} , m³/ha) pela sua produtividade (Y, t/ha), conforme demonstra a Equação 7.

$$PH_{azul} = \frac{C_{azul}}{Y} \quad (7)$$

O C_{azul} é calculado, similarmente ao C_{verde} , pelo acúmulo de ET diária durante o período de crescimento completo:

$$C_{azul} = 10 \times \sum_{d=1}^{dpc} ET_{azul} \quad (8)$$

Onde:

C_{azul} = Consumo de água azul (m³/ha);

ET_{azul} = Evapotranspiração de água azul (mm/dia);

dpc = duração do período de crescimento (dias)

d = dia do plantio

O C_{azul} representa o total de água irrigada evaporada da área. Dessa forma, a pegada hídrica azul do cultivo de uma cultura refere-se à evapotranspiração da água irrigada apenas na área da cultura. Uma vez que o armazenamento e o transporte de água são dois processos que antecedem o processo de crescimento da cultura na área de cultivo, eles têm sua própria pegada hídrica (HOEKSTRA, *et al.*, 2011). Portanto, a evaporação dos reservatórios de água e dos canais de transporte de água para irrigação são excluídas do cálculo da pegada hídrica azul do crescimento de uma cultura. O cálculo da ET_{azul} pode ser efetuado utilizando, também, o modelo CROPWAT 8.0, conforme demonstrado na Subseção 3.2.2.2.

4.2.2.3 Pegada Hídrica Cinza

A pegada hídrica cinza do crescimento de uma cultura (PH_{cinza}) é calculada como a taxa de aplicação de químicos por hectare (TAQ, kg/ha) vezes a fração de escoamento, lixiviação (α) dividido pela concentração máxima aceitável (c_{max}), menos a concentração natural (c_{nat}) para o poluente considerado e, em seguida, dividido pela produtividade da cultura (Y, t/ha), conforme Equação 9:

$$PH_{cinza} = \frac{(\alpha \times TAQ)/(c_{max} - c_{nat})}{Y} \quad (9)$$

Onde:

PH_{cinza} = Pegada hídrica cinza (m^3/t);

α = Fração de lixiviação (mm/dia);

TAQ = Taxa de aplicação de químicos por hectare (kg/ha)

c_{max} = Concentração máxima aceitável para o poluente considerado (kg/m^3)

c_{nat} = Concentração natural no corpo receptor de água (kg/m^3)

Y = Produtividade da cultura (t/ha)

Os poluentes, em geral, consistem em fertilizantes (nitrogênio, fósforo, entre outros), pesticidas e inseticidas. É preciso contabilizar apenas o poluente mais crítico, que necessita de um maior volume de água para diluição dos resíduos. Para a taxa de aplicação de produtos químicos e os padrões de qualidade da água do ambiente deve-se considerar para ambos dados locais. O último, de preferência, deve-se usar os padrões locais, tal como previsto na legislação. Quanto à fração de lixiviação, relação entre a lâmina de água drenada e lâmina de água de irrigação aplicada (KOTSUKA, 2013), Hoekstra e outros (2011), sugerem que suponha-se 10% para os fertilizantes nitrogenados. Já para as concentrações naturais os autores apontam que quando não há informação disponível, pode-se assumir a c_{nat} de acordo com a melhor estimativa ou igual a zero.

4.2.3 Avaliação da Pegada Hídrica como um novo indicador de uso da água

A utilização da pegada hídrica como indicador de uso da água é relativamente nova. A pegada hídrica é um indicador muito útil, pois mostra quando, onde e como os consumidores, produtores, processos e produtos individuais demandam água. Deve-se ressaltar que a pegada hídrica é um importante indicador dentro da ampla abrangência do tema que envolve a alocação e o uso sustentável, justo e eficiente dos recursos naturais. Obviamente, para que

haja uma compreensão integrada da PH ela precisa ser complementada com vários outros indicadores relevantes, ambientais, sociais e econômicos, por exemplo. Percepções obtidas a partir de uma análise da pegada hídrica devem sempre ser analisadas em conjunto com outros *insights* ambientais, sociais, institucionais, culturais, políticos e econômicos para permitir o entendimento de todas as questões relevantes para a tomada de decisões (HOEKSTRA *et al.*, 2011). Pois, o resultado fornecido pelo cálculo da PH deve ser analisado à luz de seu contexto socioeconômico e escala temporal e espacial, uma vez que este resultado sozinho não é capaz de apontar o impacto da utilização do recurso (EMPINOTTI; JACOBI, 2011).

A avaliação da pegada hídrica é uma ferramenta útil que facilita o entendimento das complexas relações entre as sociedades e os ambientes onde vivem. Centra-se nas questões relacionadas à escassez dos recursos hídricos, não aborda questões como inundações ou falta de infraestrutura para abastecimento de água. Portanto, é uma ferramenta parcial, para ser usada em conjunto com outros meios analíticos. Como qualquer outro método, apresenta limitações, no entanto ao mesmo tempo, é capaz de contribuir para uma melhor gestão da água em diferentes escalas (EMPINOTTI; JACOBI, 2011). Sua inovação se refere à contabilização do uso indireto da água ao longo da cadeia de abastecimento de bens e serviços, possibilitando ao usuário e ao consumidor identificar como a água está sendo alocada desde o processo produtivo até o consumo do bem. Outra inovação é que não se contabiliza apenas o uso da água azul, mas são incluídos também os componentes verde e cinza na pegada hídrica. De acordo com Empinotti e Jacobi (2011, p. 9):

[...] é importante reconhecer que o desenvolvimento da metodologia da PH e sua utilização contribuiu para que a questão dos recursos hídricos fosse trazida para o primeiro plano na discussão sobre a produção de bens de consumo. Antes considerada apenas como mais um insumo de produção, a água assume um papel estratégico e começa a ser reconhecida como um indicador de uso e impacto sobre o ambiente. A questão da água se populariza e assume uma posição de destaque nas discussões referentes às questões ambientais e práticas a serem desenvolvidas que fomentem o seu uso eficiente, a sua conservação. Antes a discussão sobre questões ambientais focava na devastação das florestas, diminuição da biodiversidade ou em emissão de carbono e agora começa a considerar a quantidade de água alocada na produção de bens de consumo e em muito graças a contribuição da PH nessa discussão.

Nesse contexto, como referência tem-se o caso do governo da Espanha, que foi o primeiro país a adotar formalmente o conceito de PH ao exigir a análise da PH ao nível da bacia hidrográfica na preparação dos planos de gestão de bacia hidrográfica (BOE, 2008). No entanto, muito ainda se tem que avançar em termos de informações interbacias, uma vez que nem todas as bacias hidrográficas do Brasil não têm comitês e nem aplicam os instrumentos de gestão, utilizados em outras partes do país (EMPINOTTI; JACOBI, 2011). Hoekstra e

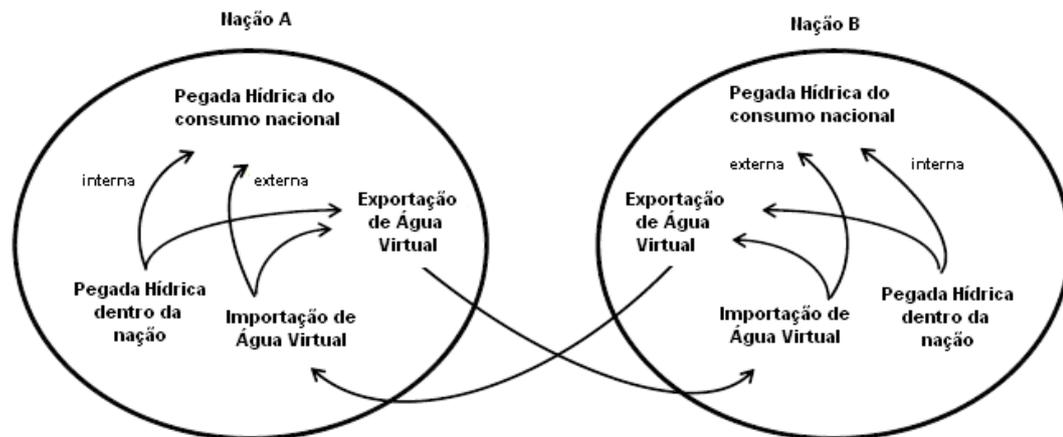
outros (2011) fizeram uma compilação das diversas aplicações do conceito de PH. De acordo com os autores, dos estudos realizados, a maioria foi publicada a partir de 2007. Os vários estudos elaborados até o momento podem ser classificados em: globais, nacionais, de bacias hidrográficas, regionais e gerais de produtos e da empresa. Poucos estudos abordam todas as fases de avaliação de pegada de água, a maioria destes estudos tem um foco maior sobre a contabilidade da pegada de água. Para Hoekstra e outros (2011) o grande desafio dos estudos futuros é abordar a avaliação da sustentabilidade e a formulação de resposta da pegada hídrica.

Por fim, conforme ressaltam Souza Júnior e Vieira (2012) a pegada hídrica pode ser vista como uma boa ferramenta de gestão, sob o ponto de vista dos usos da água, para avaliação do processo produtivo e de seu contexto econômico, por sua vez. No entanto, segundo os autores por ser uma ferramenta parcial, a avaliação da pegada hídrica deve ser utilizada em conjunto com outros meios analíticos visando fornecer uma compreensão de todo um leque de questões importantes para a tomada de decisão.

4.2.4 Fluxos de Água Virtual

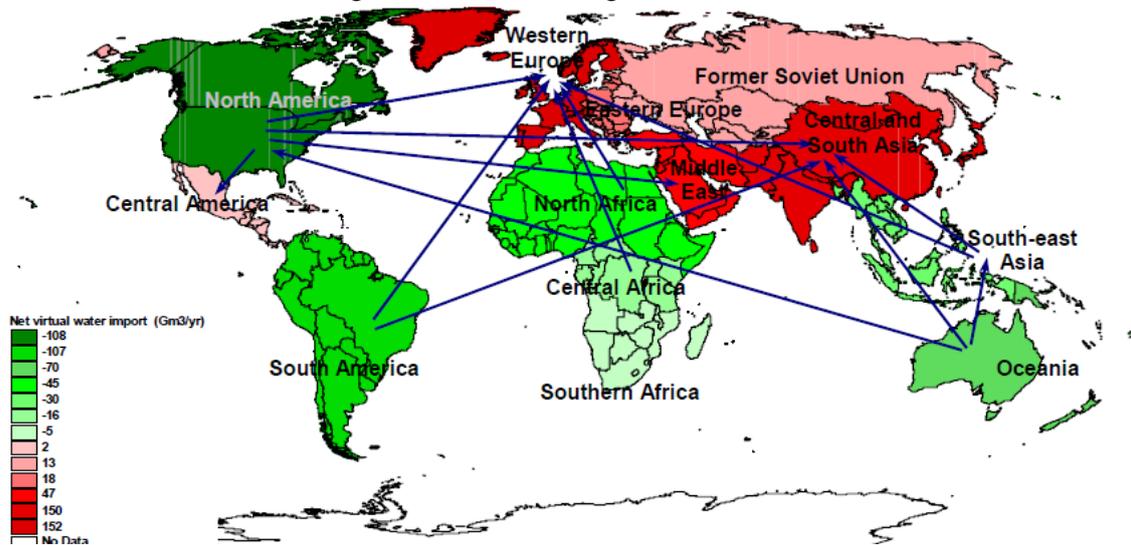
Os conceitos de água pegada hídrica e água virtual estão associados aos consumos internos e às relações comerciais entre os países (COLLADO; SAAVEDRA, 2010). Através da Figura 12 é possível perceber os fluxos internos e externos de água entre duas nações, que pode se estender, facilmente, também ao resto do mundo. Já a Figura 13 mostra o balanço de água virtual médio em treze regiões do mundo, durante o período de 1997-2001. Nesta Figura, também são apresentados os maiores fluxos de água virtual entre as diferentes regiões do mundo, relacionados ao comércio de produtos agrícolas. Em cor verde tem-se os países exportadores de água virtual e em cores vermelhas os importadores de água virtual. Os maiores exportadores de água virtual são América do Norte e América do Sul e os maiores importadores são a Europa Ocidental e Central e Sul da Ásia (CHAPAGAIN; HOEKSTRA, 2004).

Figura 12 – Fluxos internos e externos de água virtual entre duas nações



Fonte: HOEKSTRA e outros , 2011 (Adaptado)

Figura 13 – Fluxos de água virtual no mundo



Fonte: CHAPAGAIN; HOEKSTRA, 2004

Nesse sentido, visando à proteção dos recursos hídricos em determinada área, é importante saber quanta água é usada para produzir bens para exportação e quanta água é importada virtualmente. Em outras palavras, é importante conhecer “a balança comercial de água virtual” de determinada área. Os fluxos de comércio de água virtual podem ser calculados de acordo com a metodologia recomendada por Hoekstra e Hung (2002):

$$Fluxo_{AV} = AV_E - AV_I \quad (10)$$

Onde:

Fluxo_{AV} = Fluxo de Água Virtual (m³/ano)

AV_I = Água Virtual Importada (m³/ano)

AV_E = Água Virtual Exportada (m³/ano)

A Água Virtual Importada e a Exportada são calculadas, conforme as Equações 11 e 12:

$$AV_I = I_p \times PH_p \quad (11)$$

Onde:

AV_I = Água Virtual Importada (m^3 /ano)

I_p = Quantidade importada do produto (t)

PH_p = Pegada Hídrica de um determinado produto (m^3 /t)

$$AV_E = E_p \times PH_p \quad (12)$$

Onde:

AV_E = Água Virtual Exportada (m^3 /ano)

E_p = Quantidade Exportada do produto (t)

PH_p = Pegada Hídrica de um determinado produto (m^3 /t)

A importação de água virtual é um conceito importante, referindo-se à conservação da água existente na área considerada, enquanto que exportação de água virtual demonstra a PH da área relacionada ao consumo de pessoas para onde esta se dirige (HOEKSTRA *et al.*, 2011). Quanto ao resultado do Fluxo de Água Virtual, tem-se que, se o valor for positivo isto implica entrada de água virtual líquida em determinada área geográfica, vinda de outras áreas. Já um valor negativo significa saída líquida de água virtual dessa área. No que diz respeito às fontes de dados a serem utilizadas, para o comércio global, tem-se a Commodity Trade Statistics Data Base (COMTRADE) da Divisão de Estatísticas das Nações Unidas (UNSD). Para obtenção de dados estatísticos das exportações e importações brasileiras tem-se o Sistema de Análise das Informações de Comércio Exterior via Internet (ALICE-Web), da Secretaria de Comércio Exterior (SECEX), do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC).

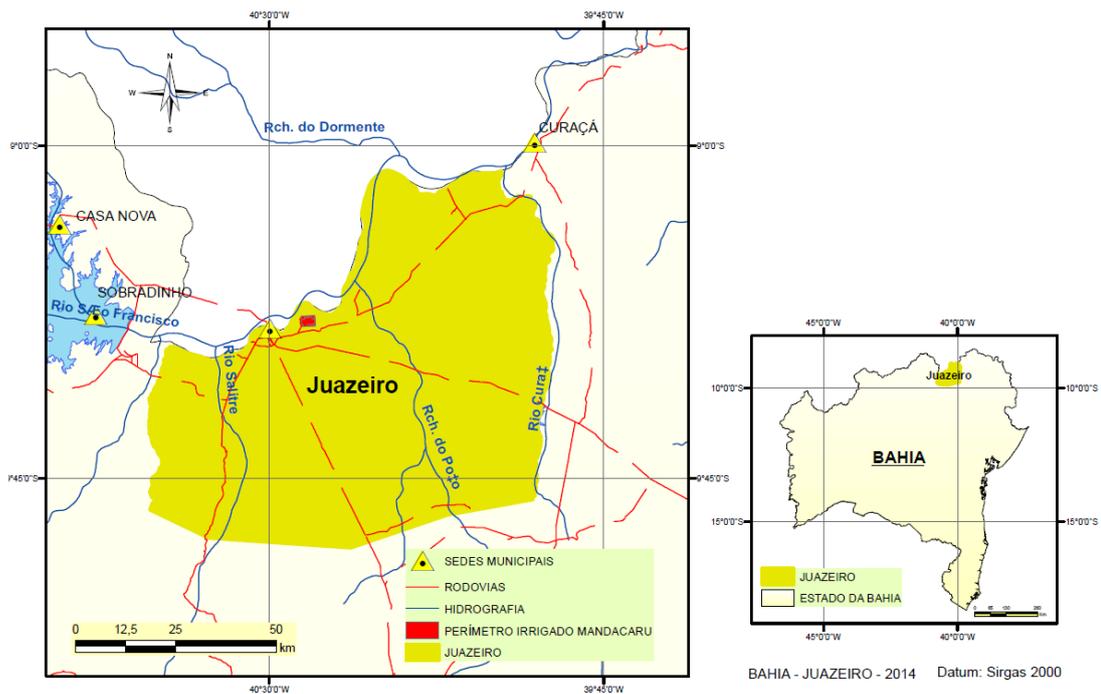
5 METODOLOGIA

5.1 CARACTERIZAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Este estudo toma pra análise o perímetro irrigado Mandacaru que foi implantado em 1971 pela Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF). Existe no perímetro, atualmente, o Distrito de Irrigação do Mandacaru (DIMAND), administrado por uma entidade privada sem fins lucrativos, que opera sob a supervisão da CODEVASF e obteve a concessão pela empresa mediante processo de licitação. O DIMAND é o responsável pelo gerenciamento do perímetro e do uso da água, pela execução das atividades de irrigação, assistência técnica e rural, pela cobrança de algumas tarifas para operação e manutenção do projeto, além de apoio à comercialização dos produtos (SOUZA, 2012; VIEIRA; MACHADO; FLEISCHMANN, 2011).

Localizado na margem direita do rio São Francisco, dentro do município de Juazeiro – Bahia (FIGURA 14), no Vale do Submédio São Francisco, o perímetro irrigado Mandacaru (FIGURA 15) possui uma área total de 807,2 hectares (ha), sendo irrigáveis 458 ha, exclusive as áreas de sequeiro. No perímetro está localizada a Estação Agrometeorológica Mandacaru da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

Figura 14 – Localização do município de Juazeiro no Estado da Bahia



Fonte: Elaboração própria, 2014

A área de estudo compreende o polígono identificado pela cor azul correspondente à área irrigável do perímetro, enquanto que o polígono preto representa a área total do perímetro (FIGURA 16). Nas bordas da área irrigável existem lotes que desenvolvem agricultura de sequeiro (SOUZA, 2012). Segundo o Ribeiro (2014b), a área irrigável conta com 73 lotes. A área média dos lotes é de 6 ha.

Figura 15 – Perímetro Irrigado Mandacaru



Fonte: Elaboração própria, 2014

O perímetro irrigado Mandacaru, tradicionalmente sempre teve seu cultivo ligado a culturas temporárias, melão e cebola, mas com o crescimento da fruticultura irrigada, houve uma aumento da área com frutíferas perenes, principalmente manga. Dos lotes existentes, 60 produzem manga (DIMAND, 2014). A produção é direcionada para o mercado interno nacional, sendo comercializada, inicialmente, a partir do mercado do produtor em Juazeiro. Primeiramente, o perímetro foi concebido para pequenos produtores, agricultores familiares, mas hoje também conta com lotes empresariais que representam 30% da área total (CODEVASF, 2014). De acordo com a CODEVASF (2014), em 2013, a cultura de maior expressividade encontrada nos lotes familiares foi a manga, ocupando 25% da área cultivada total, e nos lotes empresariais foi a cana-de-açúcar, com 30% da área cultivada.

A água para irrigação do perímetro irrigado Mandacaru é captada do rio São Francisco. Atualmente, os sistemas de irrigação utilizados são por microaspersão e gotejamento, implantados em 2011. Anteriormente, eram adotados sistemas de irrigação por sulcos, muito perdulários. Com a alteração do sistema de irrigação houve redução de 52% do volume anual bombeado (VIEIRA; MACHADO; FLEISCHMANN, 2011).

5.2 CÁLCULO DA PEGADA HÍDRICA DA MANGA

A metodologia utilizada para mensurar a pegada hídrica da cultura da manga foi a recomendada por Hoekstra e outros (2011). Ressalta-se que o estudo contemplou as Fases 01 e 02 de avaliação da Pegada Hídrica, conforme Figura 6, não contemplando as fases de Avaliação da Sustentabilidade da Pegada Hídrica e a Formulação de Resposta da Pegada Hídrica.

Os dados utilizados para os cálculos das Pegadas Hídricas Verde, Azul e Cinza da manga foram obtidos junto ao Distrito de Irrigação do Mandacaru, à Estação Agrometeorológica Mandacaru da Embrapa, ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), além de pesquisa bibliográfica na literatura especializada.

5.2.1 Componentes da pegada hídrica da manga

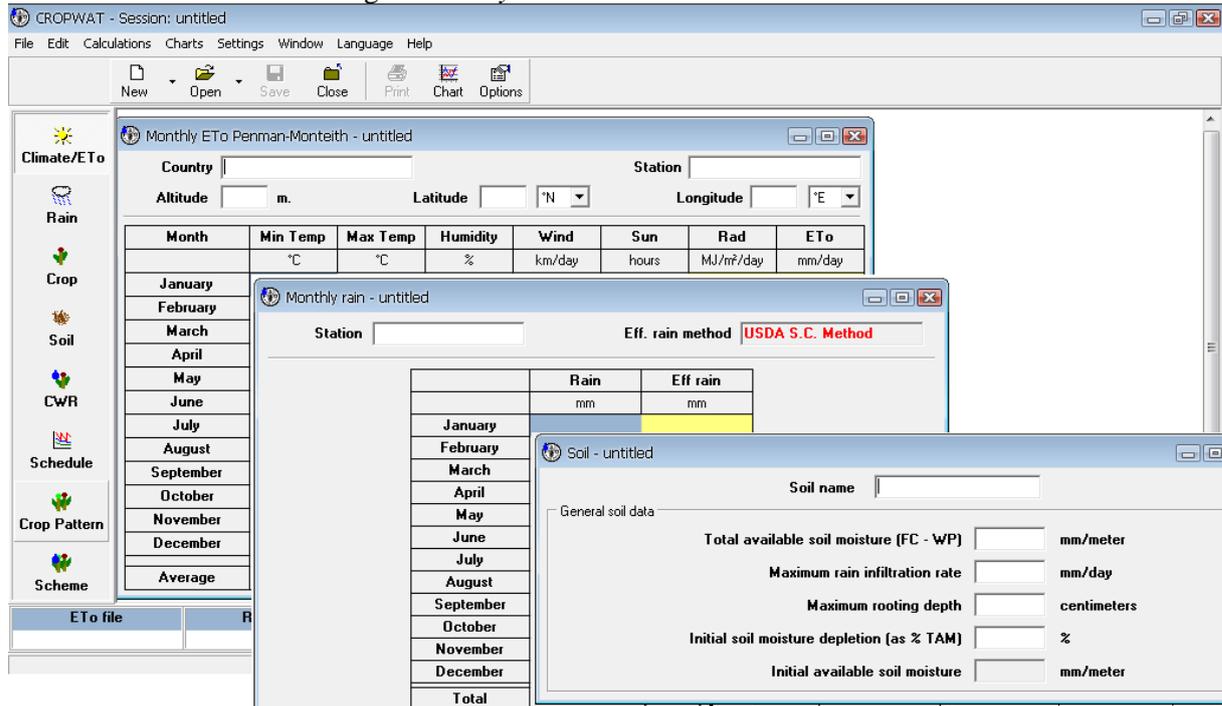
Os componentes *verde*, *azul* e *cinza* da manga foram calculados de acordo com as Equações 5, 7 e 9, respectivamente. A produtividade adotada para o cálculo de cada componente foi de 49.920 kg/ha, média de produtividade de manga no Submédio do Vale do São Francisco nos últimos 23 anos, com base na Produção Agrícola Municipal (PAM) do IBGE.

5.2.1.1 Pegada Hídrica Verde da manga

Para o cálculo da Pegada Hídrica Verde, a estimativa do consumo de Água Verde no cultivo de manga foi determinada a partir do *software* CROPWAT 8.0, desenvolvido pela FAO, o *layout* do programa pode ser observado na Figura 16. O programa utiliza como dados de entrada informações referentes a clima, a precipitação, a cultura e ao solo.

Quanto aos dados de entrada referentes ao clima e à precipitação, foram utilizadas informações médias mensais de temperatura máxima e mínima, umidade relativa do ar, velocidade do vento, insolação e precipitação da Estação Agrometeorológica de Mandacaru, no período de Janeiro de 1976 a Dezembro de 2013, obtidos junto à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) – Semiárido.

Figura16– Layout do software CROPWAT 8.0



Fonte: FAO, 2014

No que se refere às características do cultivo da manga, os valores utilizados dos coeficientes de cultivo (K_c), para o desenvolvimento da manga, foram 0,80 e 1,00, sugeridos por Coelho e Coelho Filho(2007). Quanto às características da cultura, a profundidade máxima da raiz adotada foi de 2,00 m, como sugere FAO (2014). Seguindo os valores sugeridos pela FAO (2014), os dados de fator de depleção inseridos no *Software* CROPWAT foram de 0,6 para as fases inicial, média e para a fase final.

No que diz respeito aos dados de entrada do solo, foram levantadas informações acerca do tipo de solo predominante na área de estudo. No Submédio do Vale do São Francisco no Polo Juazeiro/Petrolina, a manga é cultivada em diferentes tipos de solos, sendo mais frequente nas classes dos Vertissolos, Argissolos, Latossolos e Neossolos Quartzagênicos (SILVA; GOMES, 2004). Na região de estudo, o Perímetro Irrigado Mandacaru, o solo predominante é

o Vertissolo. Os Vertissolos são solos profundos, de textura argilosa, pH entre 5,5 – 6,5 e mal drenados (SILVA; GOMES, 2004).

Após a inserção dos dados de entrada no CROPWAT 8.0, os valores médios encontrados foram de 5,35 mm/dia para ET_0 e 1777,55 mm para a evapotranspiração da cultura, considerando um ciclo anual, por se tratar de uma cultura permanente. A precipitação efetiva foi de 451,2 mm, determinada utilizando o método do Serviço de Conservação do Solo do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA SC) adotado pelo programa.

Para o cálculo do consumo de Água Verde, Equação 6, a Evapotranspiração de Água Verde (ET_{verde}) foi calculada, conforme recomenda Hoekstra *et al* (2011), como o mínimo entre os valores da evapotranspiração total da cultura (ET_c) e a precipitação efetiva (P_{eff}), isto é:

$$ET_{verde} = \min(ET_c, P_{eff}) \quad (13)$$

Em função do valor de consumo de Água Verde foi determinada a Pegada Hídrica Verde.

5.2.1.2 Pegada Hídrica Azul da manga

O cálculo da Evapotranspiração de Água Azul (ET_{azul}), utilizado para mensurar o consumo de Água Azul, Equação 8, se deu a partir do máximo da Equação 14, segundo Hoekstra *et al* (2011). Onde a ET_{azul} é igual a ET_c menos a P_{eff} , no entanto quando a P_{eff} é maior que a evapotranspiração da cultura, como o cultivo em condições de sequeiro, por exemplo, a ET_{azul} é igual a zero.

$$ET_{azul} = \max(0, ET_c - P_{eff}) \quad (14)$$

Na sequência, em função do valor de consumo de Água Verde encontrado, a Pegada Hídrica Azul foi determinada por meio da Equação 7.

5.2.1.3 Pegada Hídrica Cinza da manga

A Pegada Hídrica Cinza da manga foi calculada por meio da Equação 9. Segundo Silva e Faria (2004), os fertilizantes ricos em nitrogênio são os mais utilizados como nutrientes no

cultivo da mangueira. Assim, a quantificação da Pegada Hídrica Cinza foi relacionada ao uso do nitrogênio.

Para a fração de lixiviação foi adotado o valor de 10% com base na recomendação de Hoekstra e outros (2011) e o valor de taxa de aplicação utilizado foi de 45 kg N/ha, de acordo com a Comissão Estadual de Fertilidade do Solo (1989) e Ribeiro (2014a), para uma produtividade esperada de 30t/ha.

No que diz respeito à concentração máxima de nitrogênio, foi adotado o valor de 10 mg/L, de acordo com o limite máximo permitido para rios enquadrados em Classe II pela Resolução nº 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) de 2005. Considerando-se a recomendação de Hoekstra e outros (2011), adotou-se o valor de concentração natural de nitrogênio no corpo hídrico igual a zero.

5.3 FLUXOS DE ÁGUA VIRTUAL PELA MANGA

Para a mensuração da Água Virtual importada e exportada foram considerados dados da exportação do Submédio do Vale do São Francisco, obtidos junto à Associação dos Exportadores de Hortigranjeiros e Derivados do Vale do São Francisco – VALEEXPORT, abrangendo uma série média temporal de doze anos, de 2002 a 2013. Estes valores foram aplicados nas Equações 11 e 12 para determinação dos valores de Água Virtual de importação e exportação. E a partir da aplicação da Equação 10, foram determinados os valores dos fluxos de Água Virtual da manga.

A fim de determinar os fluxos de Água Virtual entre o Submédio do Vale do São Francisco e os demais países, adotou-se como média da região a PH da manga cultivada no perímetro irrigado Mandacaru no município de Juazeiro.

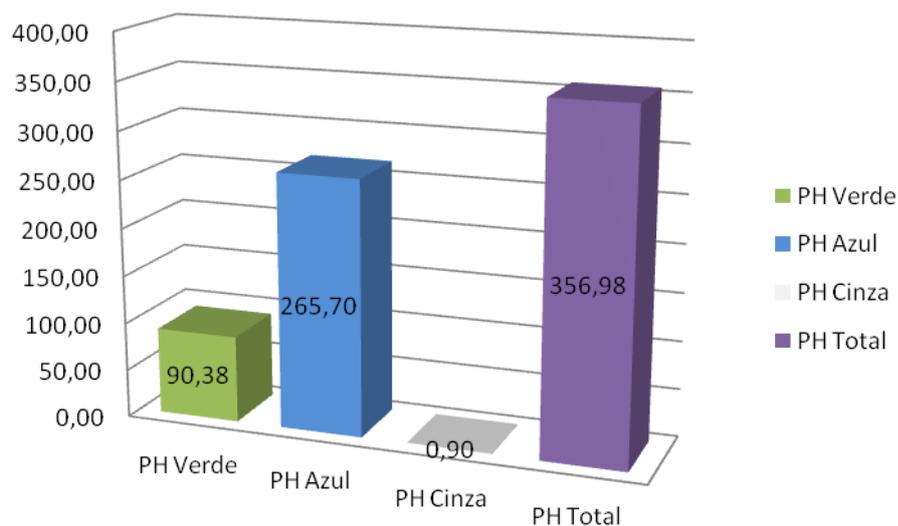
6 RESULTADOS

6.1 PEGADA HÍDRICA E OS FLUXOS DE ÁGUA VIRTUAL PELA MANGA

O consumo de água verde e azul pela cultura da manga foi de 4.512 m³/ha e 13.263,5 m³/ha, respectivamente. Uma vez que a região de estudo está localizada em região de semiárido, com chuvas escassas, prevalecendo a prática da agricultura irrigada para suprir a escassez, o consumo de água azul apresenta-se maior que o de água verde.

Após a obtenção dos valores dos consumos de água verde e azul, obtidos através das simulações no *software* CROPWAT, foi possível calcular a pegada hídrica da cultura, conforme apresentado na Figura 17. Esse gráfico exibe os valores das componentes Verde, Azul e Cinza da pegada hídrica da manga cultivada de forma irrigada. O valor da pegada hídrica azul, que representa à água de irrigação utilizada no processo de desenvolvimento da cultura, apresentou a maior contribuição na pegada hídrica total, 74% do valor total que corresponde a 265,70 m³/t. Esse resultado encontra-se em concordância com a literatura, uma vez que na região pratica-se a agricultura irrigada.

Figura 17 – Pegada hídrica total da manga (m³/t) no perímetro irrigado Mandacaru

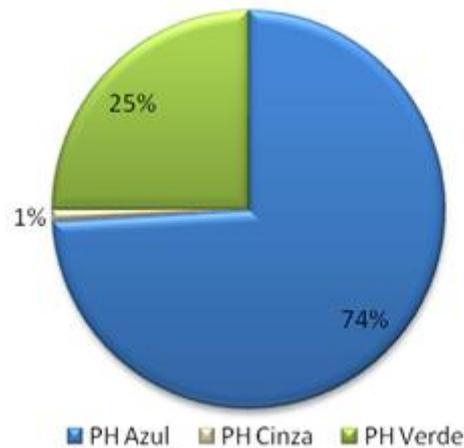


Fonte: Elaboração própria, 2014

A pegada hídrica verde responde por 25% do valor total (FIGURA 18), devido dentre outros fatores à dependência da irrigação na região. A pegada hídrica cinza é a que apresenta a menor contribuição ao valor total, 1%, o que equivale a 0,90 m³/t. Em síntese, a pegada

hídrica azul é a que possui a maior contribuição na pegada hídrica total, seguidas pelas pegadas hídricas verde e cinza. A pegada hídrica azul traz consequências diretas sobre a disponibilidade hídrica do sistema de irrigação, enquanto que a pegada hídrica cinza é um indicador de poluição que indica a gravidade de poluição existente, mas não mostra o volume de água poluída.

Figura 18- Contribuição em termos percentuais das diferentes componentes da pegada hídrica total da manga cultivada com irrigação



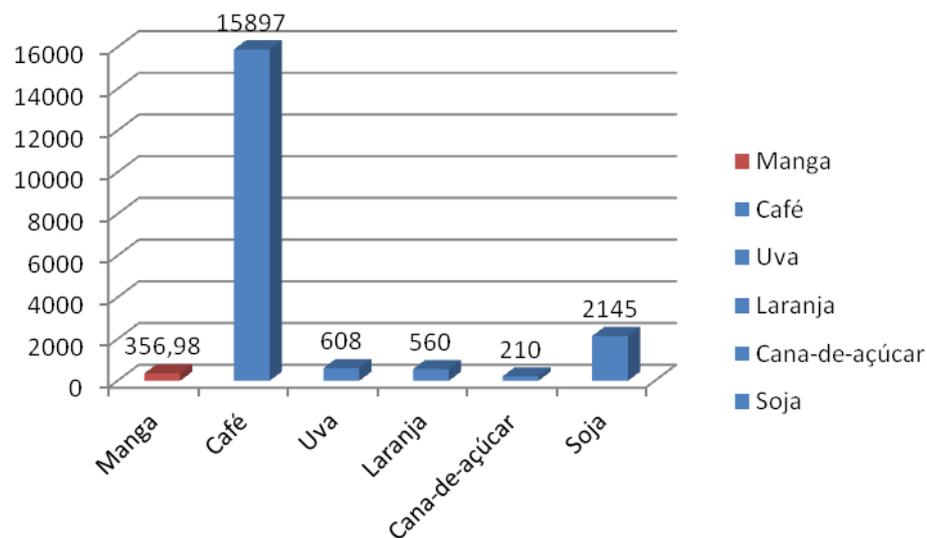
Fonte: Elaboração própria, 2014

Mekonnen e Hoekstra (2010b; 2010c) estimaram a média da pegada hídrica global de vários produtos e seus derivados, dentre eles a manga, para o período de 1996 a 2005. O valor encontrado para a média da pegada hídrica global da manga foi de 1800 m³/t, sendo 1314 m³/t a pegada hídrica verde, 362 m³/t a pegada hídrica azul e 124 m³/t a pegada hídrica cinza. Assim como no presente estudo, a pegada hídrica cinza foi a que apresentou a menor participação no valor total. No entanto, quanto às pegadas hídricas azul e verde as participações destas componentes diferiram deste estudo, com a pegada hídrica verde apresentando maior contribuição, seguida da pegada hídrica azul. Tal diferença na participação dos componentes se deve, dentre outros fatores, às condições edafoclimáticas distintas utilizadas no trabalho dos autores e no presente trabalho. De acordo com Empinotti e outros (2011), o consumo de água de determinado produto em uma região ou indústria pode fornecer uma PH grande, quando comparada a de outra região, esta pode apresentar maior escassez de água e, por diversas razões, seu impacto seria maior do que o da primeira. Carmo e outros (2007 também afirmam que a produção de um mesmo bem pode demandar um volume de água diferente, dependendo das características climáticas locais, do rendimento e da produtividade desta região. Ou seja, a demanda por água na produção de uma cultura será

diferente dependendo do local onde for plantada, tanto por questões climáticas quanto pela produtividade que envolve as características específicas do modo que estas culturas são desenvolvidas em diferentes locais (CARMO *et al.*, 2007).

A comparação do valor obtido da pegada hídrica da manga com outras culturas também é um aspecto interessante a ser observado. Na Figura 19, tem-se a pegada hídrica de algumas culturas.

Figura 19 – Comparação da pegada hídrica com pegadas hídricas de outras culturas (m³/t)



Fonte: Elaboração própria, 2014

Das culturas destacadas na Figura 19, notam-se diferenças significativas entre os valores das pegadas hídricas, com destaque para o café com a PH maior. No entanto, cabe ressaltar que o local de cultivo é fundamental para o estabelecimento dos valores da pegada hídrica.

Quanto aos fluxos de água virtual, os resultados obtidos apontam a região como exportadora de água virtual por meio da manga. No período de análise não houve registros de importação de manga, demonstrando a autossuficiência na produção da cultura.

Na Tabela 4, têm-se os fluxos de água virtual entre o Submédio do Vale do São Francisco e as principais regiões de destino. Observa-se que a maior importadora de manga é a Europa, destacando-se os Países Baixos (Holanda), a Espanha, Portugal e o Reino Unido como principais países importadores. Os Estados Unidos são o segundo maior importador de manga.

Tabela 4 – Fluxos de água virtual da manga produzida pelo Submédio do Vale do São Francisco

Região	Exportações* (t)	Importações (t)	AV_e (10⁶ m³)	AV_i (10⁶ m³)	Fluxo AV (10⁶ m³)
Europa	79.830	-	28.497.736	-	28.497.736
Estados Unidos	21.288	-	7.599.396	-	7.599.396
Outros	5.322	-	1.899.849	-	1.899.849

Fonte: Elaboração própria, 2014

*Dados de exportação da VALEXPORT, 2014

Destaque nas exportações de manga no cenário nacional, responsável em 2013 por mais de 90% destas, a região do Submédio do Vale do São Francisco, conforme elencada na Tabela acima apresentou substancial volume de água nos fluxos de água virtual pela manga produzida.

6.2 PEGADA HÍDRICA, ÁGUA VIRTUAL E A GESTÃO DA ÁGUA

A participação crescente de *commodities* no mercado internacional e seu peso na balança comercial brasileira tornam as atividades produtivas associadas a estes produtos essenciais para o país. As condições favoráveis tais como disponibilidade de terras cultiváveis e de recursos hídricos eleva o desempenho do país na exportação de produtos agrícolas.

Alguns produtos possuem volume de água gasto na produção elevado, nesse sentido a ferramenta da água virtual surge como uma agenda para investigação no que diz respeito à produção de alimentos (CARMO *et al.*, 2007). Nesse sentido a utilização do conceito de água virtual, enquanto volume de água utilizada na produção de uma mercadoria, bem como da pegada hídrica, indicador de uso da água, podem subsidiar a gestão descentralizada da água, pois indica o consumo direto e indireto de água pelos consumidores (ALDAYA *et al.*, 2010b).

Medindo o fluxo de água no comércio de bens entre países, a água virtual é uma ferramenta que pode atuar como elemento estratégico na gestão, uso, reuso e alocação de recursos hídricos (CARMO *et al.*, 2007). Os países ou regiões exportadores de água virtual, do ponto de vista ecológico podem colocar em risco a manutenção dos ecossistemas, seja pela redução da vazão dos corpos d'água, seja pela adoção de medidas pela agricultura tradicional, como o uso de fertilizantes e agrotóxicos, podendo vir a comprometer a qualidade dos recursos hídricos (RESENDE NETO, 2011).

Diante da crescente demanda de água e consumo de bens e serviços, torna-se imperativa a aplicação de medidas que visem um consumo mais sustentável, de forma a possibilitar o consumidor a escolha do produto que requer menor quantidade de água na sua produção ou cadeia produtiva (FERNANDEZ; MEDIONDO, 2011). Nesse contexto, a água virtual e a pegada hídrica poderiam atuar como alternativas para medidas de controle, de educação e de política para diminuir a pressão sobre os recursos hídricos (CARMO *et al.*, 2007). Pois, enquanto indicadores ambientais associados ao nível de vulnerabilidade da disponibilidade de recursos hídricos, a pegada hídrica e do fluxo de água virtual estas contribuem para esclarecer a população acerca do seu consumo de água (FERNANDEZ; MEDIONDO, 2011).

Do exposto, ressalta-se que a utilização das ferramentas da pegada hídrica e da água virtual como indicador de uso e volume de água utilizado na produção de mercadorias, respectivamente, é relativamente recente. Por essa razão, devem ser testadas em diversas situações e locais, para que com o tempo sejam aperfeiçoadas e aprimoradas às diferentes realidades e contextos existentes (EMPINOTTI *et al.*, 2011). Segundo os autores, como quaisquer métodos, apresentam limitações, no entanto são capazes de contribuir para uma melhor gestão da água em diferentes escalas.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A segurança hídrica é uma questão premente na agenda mundial, uma vez que a água é um bem finito. E, para que a mesma seja alcançada a gestão do uso da água deve atuar de forma eficaz. Nesse sentido, práticas que exerçam pressão sobre os recursos hídricos devem ser revistas, por meio da aplicação de medidas que visem estimular um consumo mais sustentável.

Para que isso ocorra a utilização de indicadores ambientais associados ao nível de vulnerabilidade da disponibilidade hídrica são de fundamental importância. Os conceitos de pegada hídrica e água virtual ao reconhecerem os fluxos globais de água trouxeram a questão da água da escala local e regional para a global, ao tratarem a questão da água e sua disponibilidade nas determinações do comércio de produtos.

Nesse sentido, quanto à aplicação destes conceitos, no âmbito local exposto no presente trabalho, infere-se a produção de um mesmo bem pode demandar um volume de água diferente, dependendo das características climáticas locais, do rendimento e da produtividade desta região. E, quanto à análise dos fluxos de água virtual através da cultura estudada, a manga, observou-se que a quantidade de água exportada é substancial, o que demanda a realização de novos estudos com outros produtos que possuem altos índices de exportação, a fim de mensurar a magnitude da água exportada por estes.

Pois, num contexto de elevada demanda de água e consumo de bens e serviços, considerar a água como uma questão chave na definição de políticas, dá visibilidade a este recurso no processo de tomada de decisão, trazendo-o para a esfera política visando transformá-lo numa questão estratégica na definição de ações que visem a garantia de sua disponibilidade. O que seria uma mudança de estratégia na forma de conceber e manejar a água na gestão do seu uso. Diante da preocupação mundial com o uso da água a necessidade de sua preservação e conservação é latente.

Assim, ao fazer a gestão deste recurso escasso e limitado, o Estado deve considerar a essencialidade do bem, priorizar, em especial, áreas de semiárido, como a região de estudo, que tem projetos de irrigação voltados para a agricultura familiar; a despeito da produção em larga escala.

Diante do exposto, compreender os desafios relacionados à gestão das águas é uma questão complexa, no entanto a utilização da pegada hídrica e da água virtual pode auxiliar no processo de tomada de decisão, na conscientização e no desenvolvimento de políticas, bem como contribuir para ações positivas de uma maneira mais eficaz.

REFERÊNCIAS

ALDAYA, M. M.; LLAMAS, M. R. **Water footprint analysis for the Guadiana river basin**. Madri: Fundación Marcelino Botín, 2008.

ALDAYA, M. M.; *et al.* **Incorporating the water footprint and virtual water into policy: reflections from the Mancha Occidental Region**. Spain:Water Resource Manage. 2010b.

_____. **Water footprint and virtual water trade in Spain**. New: York Springer, 2010a.

ALLAN, J. A. Virtual water: A strategic resource. London: NGWA. **Ground Water**, 1998.

ALLEN, R. G. *et al.* **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirement**. Rome: FAO Irrigation and Drainage. 2006. (Paper, n. 56).

ARAÚJO, A. **Quantificando a apropriação dos recursos hídricos**. Brasília. The Nature Conservancy, 2011.

BAHIA. Secretaria de Ciência Tecnologia e Inovação (SECTI). **Plano de Desenvolvimento do APL de Fruticultura do Submédio do Vale do São Francisco – Bahia**. Salvador, 2008.

_____. **Lei nº 6.855, de 12 de maio de 1995**. Dispõe sobre a política, o gerenciamento e o plano estadual de recursos hídricos e dá outras providências. Disponível em: < www.meioambiente.ba.gov.br>. Acesso em: 20 jun. 2014.

_____. **Lei nº 10.432, de 20 de dezembro de 2006**. Dispõe sobre a política estadual de recursos hídricos, cria o sistema estadual de gerenciamento de recursos hídricos e dá outras providências. Disponível em: < www.meioambiente.ba.gov.br>. Acesso em: 20 jun. 2014.

_____. **Lei nº 11.612, de 08 de outubro de 2009**. Dispõe sobre a política estadual de recursos hídricos, o sistema estadual de gerenciamento de recursos hídricos, e dá outras providências. Disponível em: < www.meioambiente.ba.gov.br>. Acesso em: 20 jun. 2014.

_____. **Lei nº 12.212, de 04 de maio de 2011**. Modifica a estrutura organizacional e de cargos em comissão da administração pública do poder executivo estadual, e dá outras providências. Disponível em: < www.meioambiente.ba.gov.br>. Acesso em: 20 jun. 2014.

_____. **Lei nº 12.377, de 28 de dezembro de 2011**. Altera a Lei nº 10.431, de 20 de dezembro de 2006, que dispõe sobre a política estadual de meio ambiente e de proteção à Biodiversidade, a Lei nº 11.612, de 08 de outubro de 2009, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e a Lei nº 11.051, de 06 de junho de 2008, que Reestrutura o Grupo Ocupacional Fiscalização e Regulação. Disponível em: < www.meioambiente.ba.gov.br>. Acesso em: 20 jun. 2014.

BORSOI, Z. M. F. ; TORRES, S. D. A. **A Política de recursos hídricos no Brasil**. Rio de Janeiro: BNDES, 1997.

BRANCO, D. K. S. Impactos da ferrovia transnordestina na exportação de manga e uva do Vale Submédio São Francisco. In: ENCONTRO DE ECONOMIA BAIANA, 10., 2014,

Salvador. **Anais...** Salvador: Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia, 2014. p. 28-50.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de janeiro de 1997.** Institui a política nacional de recursos hídricos, cria o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: < www.planalto.gov.br>. Acesso em: 30 jul. 2014.

_____. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (SECEX/MDIC). **Exportações.** Brasília, 2014.

_____. **Resolução CONAMA Nº 357, 17 de março de 2005.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: < www.mma.gov.br>. Acesso em: 30 jul. 2014.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Agência Nacional de Águas. **GEO Brasil: recursos hídricos.** Componente da série de relatórios sobre o estado e perspectivas do meio ambiente no Brasil. Brasília, 2007.

_____. **Decreto nº 24.643, de 10 de Julho de 1934.** Decreta o código de águas. Brasília, 1934.

_____. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988.** Brasília: Presidência da Casa civil, 1988.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Agência Nacional de Águas. **Os instrumentos da política nacional de recursos hídricos.** Brasília, 2012.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **Sistema de gerenciamento de recursos hídricos.** 2014.

BRONZATTO, L. A. ; AMORIM, M. A. M. A Cobrança pelo Uso de Recursos Hídricos e seu impacto no setor agropecuário da bacia hidrográfica do rio Verde Grande. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 50., 2012, Vitória. **Anais...** Vitória: Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2012. p. 1-20.

CARMO, R. L. *et al.* Água virtual, escassez e gestão: O Brasil como grande “exportador” de água. **Ambiente & Sociedade**, Campinas, v. 10, n. 1, p. 83-96, jan./jun. 2007.

CASADO, R.R. *et al.* La huella hidrológica de la agricultura española. **Papeles de Agua Virtual**, Madrid, n. 2, p. 39, 2008.

CHAPAGAIN, A. K. ; HOEKSTRA, A.Y. **Water footprints of nations.** Países Baixos: UNESCO-IHE, 2004. (Value of water research report series, n. 16). Disponível em: < <http://www.waterfootprint.org/Reports/Report16Vol1.pdf>>. Acesso em: 16 jun. 2014.

CHAPAGAIN, A. K. ; TICKNER, D. Pegada Hídrica: evolução do conceito e sua utilidade. In: EMPINOTTI, V. ; JACOBI, P. R. **Pegada hídrica: inovação, corresponsabilização e os desafios de sua aplicação**. São Paulo: Annablume. 2012.

CHAPAGAIN, A.K. ; HOEKSTRA, A.Y. The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives. **Ecological Economics**, n. 70, 2011.

COELHO, E. F. ; COELHO FILHO, M. A. **Irrigação da mangueira**. Cruz das Almas: Embrapa, 2007. (Circular técnica, n. 87).

COLLADO B. ; SAAVEDRA I. P. **Água virtual en los países em desarrollo**. Zaragoza: Universidade de Zaragoza, 2010.

COMISSÃO ESTADUAL DE FERTILIDADE DO SOLO, SALVADOR-BA. **Manual de adubação e calagem para o Estado da Bahia**. 2. ed. Salvador: CEPLAC, EMATERBA, ÉBAPA, NITROFÉTIL. 1989.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E PARNAÍBA - CODEVASF. **Submédio São Francisco**. 2010. Disponível em: <http://www.codevasf.gov.br/DeSaTiVaDo_osvales/vale-do-sao-francisco/recus/submedio-sao-francisco>. Acesso em: 20 jun. 2014.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E PARNAÍBA – CODEVASF. **Perímetros irrigados**. 2014. Disponível em: <<http://www.codevasf.gov.br/principal/perimetros-irrigados/elenco-de-projetos/mandacaru>>. Acesso em: 26 jul. 2014.

CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS (CONERH). **Resolução N° 43**. Institui a divisão hidrográfica estadual em regiões de planejamento e gestão das águas. 2009.

CUNHA, T. J. F. *et al.* **Solos do submédio do Vale do São Francisco: potencialidades e limitações para uso agrícola**. Petrolina, PE: Embrapa 2008. (Documentos, n. 211). Disponível em: <http://www.cpatsa.embrapa.br/public_eletronica/downloads/SDC211.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2014.

DUMONT, A. ; SALMORAL, G.; Llamas, M.R. The water footprint of a river basin with a special focus on groundwater: the case of Guadalquivir basin (Spain). **Water Resources and Industry**, Estados Unidos, v. 1-2, n.1, p. 60-76, 2013. Disponível em: <<http://www.waterfootprint.org/?page=files/Publications>>. Acesso em: 16 ago. 2014

EMPINOTTI, V. *et al.* Pegada hídrica e a gestão da água: aplicações e limitações do método. In: ENCONTRO INTERNACIONAL DE GOVERNANÇA DA ÁGUA, 3., 2011, São Paulo. **Anais...** São Paulo: PROCAM/USP, 2011. p. 1-11.

EMPINOTTI, V. ; JACOBI, P.R.; Pegada hídrica: ferramentas de gestão, atores e seu impacto sobre as práticas de governança no Brasil. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO DE ESTUDOS LATINO-AMERICANOS. 2012, São Francisco, Califórnia, **Anais...** São Francisco: Associação de Estudos Latino-Americanos, 2012. p. 1-20.

ERCIN, A.E. ; MEKONNEN, M.M.; HOEKSTRA, A.Y. **The water of Switzerland**. Países Baixos: UNESCO-IHE, 2012. (Value of water research report series, n. 57). Disponível em: <<http://www.waterfootprint.org/?page=files/Publications>>. Acesso em: 16 set. 2014

FALKENMARK, M.; ROCKSTRÖM, J. **Balancing water for humans and nature: the new approach in Ecohydrology**. Earthscan, London, 2004. Disponível em: <<http://f3.tiera.ru/1/genesis/655-659/658000/a342d7a0a312513181fec0537faaadbe>>. Acesso em: 16 set. 2014.

FAO. **Agua y cultivos, logrando el uso óptimo del agua em la agricultura**. 2002.

_____. **CLIMWAT 2.0 database**. 2010b. Disponível em: <www.fao.org/nr/water/infores_databases_climwat.html>. Acesso em: 10 ago. 2014.

_____. **Crops**. FAOSTAT, 2014.

_____. **CROPWAT 8.0 model**. 2010a. Disponível em: <www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html>. Acesso em: 16 set. 2014.

_____. **FAOSTAT**. Roma, [2012]. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>. Acesso em: 16 nov. 2014.

FERNADEZ, J. A. B. ; MEDIONDO, E. M. Água virtual na gestão de águas urbanas sob cenários de Adaptação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19., 2011, Maceió. **Anais...** Maceió: ABRH, 2011, p. 1-15.

EMPINOTTI, V. *et al.* Pegada hídrica e a gestão da água: aplicações e limitações do método. In: ENCONTRO INTERNACIONAL DE GOVERNANÇA DA ÁGUA, 3., 2011, São Paulo. **Anais...** São Paulo: PROCAM/USP, 2011, p. 1-11.

GLOBAL WATER SECURITY. **Special report**. Estados Unidos: Intelligence Community Assessment, 2012.

HOEKSTRA, A. Y. ; CHAPAGAIN, A. K.; ALDAYA, M.M.;MEKONNEN, M.M. **Water footprint manual: state of the art** . Países Baixos: Water Footprint Network, Ensched, The Netherlands, 2009.

HOEKSTRA, A. Y. ; CHAPAGAIN,A.K. **Globalización del agua – compartir los recursos de agua dulce del planeta**. Madrid: Marcial Pons Ediciones Jurídicas y Sociales, 2010. Disponível em: <<http://www.marcialpons.es/static/pdf/100880180.pdf>>. Acesso em: 16 set. 2014.

HOEKSTRA, A.Y. **Virtual water trade**: Proceedings of the international expert meeting on virtual water trade. Delft: UNESCO-IHE, 2003. (Value of water research report series, n.12).

HOEKSTRA, A.Y., CHAPAGAIN, A.K.,. Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. **Water Resources Management**, Estocolmo, n. 21, p. 1-14, out. 2006a.

HOEKSTRA, A.Y. ; HUNG, P.Q. **Virtual water trade: a quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade.** Delft: UNESCO-IHE, 2002. (Value of water research report series, n. 11).

HOEKSTRA, A.Y. ; CHAPAGAIN, A.K. **The water footprints of Morocco and the Netherlands.** Delft: UNESCO-IH, 2006b. (Value of water research report series, n. 21), Disponível em: < <http://www.waterfootprint.org/?page=files/Publications>>. Acesso em: 20 ago. 2014.

HOEKSTRA, A.Y. ; CHAPAGAIN, A.K. ; ALDAYA, M.M. ; MEKONNEN, M.M. **The Water Footprint assessment manual: setting the global standard.** London: Earthscan, 2011.

JACOBI, V. L. ; EMPINOTTI, P. R. Novas práticas de governança da água? o uso da pegada hídrica e a transformação das relações entre o setor privado, organizações ambientais e agências internacionais de desenvolvimento. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 27, 2013.

KILL, L. H. P. ; MEDEIROS, K. M. **Informações sobre polinizadores em mangueira no Vale do São Francisco.** Petrolina: Embrapa Semiárido, 2008. (Documentos, n. 213).

KOTSUKA, L. K. **Avaliação dos conceitos de água virtual e pegada hídrica na gestão de recursos hídricos: estudo de caso da soja e óleo de soja.** 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

LEAL, S. G. R. **O impacto da cobrança pelo de recursos hídricos na irrigação.** 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.

LIMA NETO, F. P. *et al.* **Subsídios técnicos para a indicação geográfica de procedência do Vale do Submédio São Francisco: uva de mesa e manga.** Petrolina: Embrapa Semiárido, 2009. (Documentos, 222).

MEKONNEN, M. M. ; HOEKSTRA, A. Y. A global and high-resolution assessment of the green, blue and grey water footprint of wheat. **Hydrology and earth system sciences**, v. 14, 2010. Disponível em: <<http://www.waterfootprint.org/Reports/Mekonnen-Hoekstra-2010-waterfootprint-wheat.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2014.

MEKONNEN, M. M. ; HOEKSTRA, A. Y. **The green, blue and grey water footprint of crops derived crop products.** Delft: UNESCO; Institute for Water Education, 2010b. v. 1.

_____. **The green, blue and grey water footprint of crops derived crop products.** Delft: UNESCO; Institute for Water Education, 2010c. v. 2.

MOREIRA, C. M.; SILVA, D. D. da. **Atlas hidrológico da bacia hidrográfica do rio Grande.** Barreiras, BA: Gazeta Santa Cruz, 2010.

MOTTA, R. S. da. **Economia ambiental.** Rio de Janeiro: FGV, 2006.

OKYEREH, S. K. **The determination of crop water requirement of mango in the transitional zone of Ghana.** 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e Agrícola) - Faculty of Mechanical and Agricultural Engineering, Ghana, 2009.

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

RIBEIRO, C. S. **Taxa de aplicação de nitrogênio para a mangueira no semiárido: Caetité, renova energia,** 4 dez. 2014a. Entrevista a Maurício Antônio Coelho Filho.

_____. **Produção de manga no Distrito Irrigado Mandacaru – DIMAND.** Salvador: Secretaria de Desenvolvimento Econômico do Estado da Bahia, 10 nov. 2014b. Entrevista a Jackson Cardoso Dantas.

SHARPLEY, A.N. ; WILLIAMS, J.R. **Erosion/productivity impact calculator. Model documentation.** Washington, D,C: USDA-ARS Technical, 1990.

SILVA, D. J. ; FARIA, C. M. B. de. Nutrição, calagem e adubação. In: MOUCO, M. A. do.C. (Ed.). **Cultivo da mangueira.** Petrolina: Embrapa Semiárido, 2004.

SILVA, M. S. P. da; GOMES, T. C. de A. Manejo de solo. In: MOUCO, M. A. do C. (Ed.). **Cultivo da mangueira.** Petrolina: Embrapa Semiárido, 2004.

SILVA, P. C. G. da; CORREIA, R. C. Socioeconomia. In: MOUCO, M. A. do C. (Ed.). **Cultivo da mangueira.** Petrolina: Embrapa Semiárido, 2004.

SIMÃO, A. H. ; MANTOVANI, E. C.; SIMÃO, F. R. Irrigação e fertirrigação na cultura da mangueira. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MANGA, 1., 2004, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2004. p. 1-30.

SOUZA JÚNIOR, W. C. de; VIEIRA, B. C. A pegada hídrica como indicador: concepções e crítica metodológica. In: EMPINOTTI, V.; JACOBI, P. R. **Pegada hídrica: inovação, corresponsabilização e os desafios de sua aplicação.** São Paulo: Annablume, 2012.

SOUZA, L.T. **Estudo da diversidade de solos e sua relação com a ocorrência de áreas salinizadas no Perímetro irrigado Mandacaru, Juazeiro-BA.**2012. Monografia (Graduação em Geografia) - Instituto de Geociências, UFBA, Salvador, 2012.

THOMAS, P. T. **Proposta de uma metodologia de cobrança pelo uso da água vinculada à escassez.** 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

VALEXPORT. **Exportações de mangas – Brasil X Vale do São Francisco.** Petrolina, 2014.

VAN OEL, P.R.; KROL, M.S. ; HOEKSTRA, A.Y. **A river basin as a common-pool resource: a case study for the Jaguaribe basin in Brazil.** Delft: UNESCO-IHE, 2007. (Value of water research report series, n. 24). Disponível em: <<http://www.waterfootprint.org/?page=files/Publications>>. Acesso em: 20 jun. 2014.

VANHAM, D.; MEKONNEN, M.M.; HOEKSTRA, A.Y. **The water footprint of the EU for different diets. ecological indicators.** 2013. Disponível em:

<<http://www.waterfootprint.org/?page=files/Publications>>. Acesso em: 20 jun. 2014.

VELÁZQUEZ, E. ; MADRID, C. ; BELTRAÍN, 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**, n. 25, p. 743-761, out. 2011.

_____. Virtual water, water footprint and other indicators of water sustainability. A necessary conceptual and methodological revision. **Boletín Ecodes**, Espanha, v.1, 2009.

VIEIRA, R. F. ; MACHADO, F. C. ; FLEISCHMANN, J. Efeito da mudança do sistema de irrigação do perímetro de Mandacaru. In: ENCONTRO NACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA ECOLÓGICA, 9., 2011, Brasília. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Economia Ecológica, 2011. p. 1-102.

ZENG, Z. ; LIU, J. ; KOENEMAN, P.H.; ZARATE, E. ; HOEKSTRA, A.Y. Assessing water footprint at river basin level: a case study for the Heihe River Basin in northwest China. **Hydrology and Earth System Sciences**, Países Baixos, n. 16, p. 2771–2781, ago. 2012. Disponível em: <<http://www.waterfootprint.org/?page=files/Publications>>. Acesso em: 20 jun. 2014.

ZHUO, L. ; MEKONNEN, M.M. ; HOEKSTRA, A.Y. **Sensitivity and uncertainty in crop water footprint accounting:** A case study for the Yellow River Basin. Delft: UNESCO-IHE, 2013. (Value of water research report series n. 62). Disponível em: <<http://www.waterfootprint.org/?page=files/Publications>>. Acesso em: 20 jun. 2014.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Dados climáticos

País: Brasil

Estação: Agrometeorológica de Mandacaru

Altitude: 375,5

Latitude: 09°24'S

Longitude: 40°26'W

Período: 1976-2013 (média mensal)

Month	Min. Temp. (°C)	Max. Temp. (°C)	Humidity (%)	Wind (km/day)	Sun (hours)
January	21,8	33,0	64,7	167,4	7,8
February	21,6	32,9	66,0	169,6	7,6
March	21,7	32,5	67,9	148,0	7,3
April	21,3	32,1	66,8	167,8	7,5
May	20,3	31,3	66,3	194,0	7,4
June	19,0	30,2	66,0	227,5	7,1
July	18,2	29,9	63,7	243,6	7,5
August	18,4	30,9	60,3	262,1	8,4
September	19,8	32,7	56,0	266,8	8,7
October	21,3	34,1	54,8	254,1	8,8
November	22,0	34,2	57,8	218,5	8,5
December	22,0	33,3	61,3	182,5	7,8
Average	20,6	32,2	62,5	209,8	7,9

Fonte: EMBRAPA Semiárido, 2014

APÊNDICE B – Precipitação

Estação: Agrometeorológica de Mandacaru
Período: 1976-2013 (média mensal)

Month	Rain (mm)
January	90,5
February	86,2
March	116,0
April	54,0
May	20,1
June	8,0
July	5,1
August	2,0
September	2,8
October	7,1
November	46,4
December	78,5
Total	516,7

Fonte: EMBRAPA Semiárido, 2014