

UNIVERSIDADE DE TRÁS- OS-MONTES E ALTO DOURO  
ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA

# **Pegada Hídrica**

## **Caso de estudo do tijolo cerâmico**

Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil

**Marco José Monteiro Teixeira**



Vila Real, 2012

UNIVERSIDADE DE TRÁS- OS-MONTES E ALTO DOURO  
ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA

# **Pegada Hídrica**

## **Caso de estudo do tijolo cerâmico**

Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil

**Marco José Monteiro Teixeira**



Vila Real, 2012

Dissertação apresentada na Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob orientação científica da Professora Doutora Isabel Maria Assunção de Marta Oliveira Bentes e da Professora Doutora Ana Cristina Ribeiro Matos Coutinho.

*“May God bless you with enough foolishness to believe that you really can make a difference in this world (...)”.*

Franciscan Benediction

## Agradecimentos

A realização desta dissertação de mestrado apenas foi possível com a cooperação e apoio incondicional de algumas pessoas a quem gostaria de deixar o meu profundo agradecimento.

À minha orientadora Professora Doutora Isabel Bentes e à minha coorientadora, Professora Doutora Cristina Matos Coutinho, pelas orientações, disponibilidade, competências e esclarecimentos.

À Engenheira Marisa Almeida e à sua equipa do CTCV, por toda a disponibilidade e facilidade nas inúmeras e frequentes solicitações para levantamento de dados.

A todos os que, de alguma forma, direta ou indiretamente, contribuíram para o desenvolvimento desta dissertação de mestrado.

Aos amigos de sempre que partilham continuamente experiências e que de alguma maneira contribuíram para quem sou hoje.

Por fim, não podia deixar de agradecer aos meus pais, irmão e familiares que me proporcionaram todas as condições para poder ser aquilo que sou hoje e que sempre me incentivaram a progredir e a concretizar todos os meus sonhos.

A todos o meu muito obrigado

## Resumo

A água é um dos fatores de produção mais importantes no setor da construção civil.

Esta dissertação centra-se no indicador de Pegada Hídrica, que mede a apropriação por parte da humanidade dos recursos de água doce. A Pegada Hídrica divide-se em três componentes: azul, verde e cinzenta. A Pegada Hídrica azul refere-se ao consumo de água subterrânea ou superficial ao longo da cadeia do produto ou do processo. Entende-se por consumo a perda de água subterrânea ou superficial disponível numa bacia hidrográfica, que acontece quando se evapora, regressa a outra bacia hidrográfica ou ao mar ou é incorporada no produto. A Pegada Hídrica verde refere-se ao consumo de água da chuva armazenada no solo como humidade. A Pegada Hídrica cinzenta refere-se à poluição e é definida como o volume de água doce necessária para diluir a carga poluente com base nos padrões de qualidade de água existentes.

Este estudo tinha como objetivo principal calcular a Pegada Hídrica de uma tonelada de tijolo.

Foi possível calcular que a Pegada Hídrica referente à produção de uma tonelada de tijolos é de 0.05 m<sup>3</sup>/tonelada, sendo que a componente com maior relevância é a azul, cerca de 99%.

**Palavras-Chave** – Pegada Hídrica, Tijolo.

## Abstract

### Water footprint: a case study of ceramic brick

Water is one of the most important production factor is Civil engineer sector.

This dissertation aims to calculate the water footprint that measures the human appropriation of this natural resource, for the production of one ton of bricks. Usually water footprint is divided in three main components: blue, green and grey. Blue water footprint refers to the subterranean or superficial water used in the product chain. Water used is the amount of subterranean or superficial water lost among the water cycle, namely, evaporation transport to another watershed or sea or incorporation in the production. Green water footprint refers to the rainwater, disposed as humidity, use. Grey water footprint refers to pollution and it is defined as the volume of sweet water necessary to dilute the pollution untie the standard quality pattern.

It was possible to calculate the water footprint for the production of a ton of bricks ( $0,05 \text{ m}^3/\text{ton}$ ), and the blue water footprint is the most relevant part (99% of the total water footprint).

**Keywords** - Water footprint, Brick

# Índice Geral

Agradecimentos .....	i
Resumo .....	ii
Abstract .....	iii
Índice Geral .....	iv
Índice de Figuras .....	vi
Índice de Tabelas .....	vii
Índice de Gráficos .....	viii
Lista de Abreviaturas e de siglas .....	ix
Capítulo 1 – Introdução .....	1
1.1 – Enquadramento e relevância do tema .....	1
1.2. – Objetivos da Dissertação .....	3
1.3 – Estrutura da Dissertação .....	3
Capítulo 2 - Revisão Bibliográfica .....	5
2.1 – O conceito .....	5
2.2 – Tipos de Pegada .....	7
2.2.1 – Pegada Hídrica direta e indireta .....	7
2.2.2 – Pegada Hídrica interna e externa .....	8
2.2.3 – Pegada Hídrica Azul .....	8
2.2.4 – Pegada Hídrica verde .....	10
2.2.5 – Pegada Hídrica cinzenta .....	11
2.2.6 – Pegada Hídrica de um produto .....	12
2.2.7 – Pegada Hídrica de um consumidor ou grupo de consumidores .....	15
2.2.8 – Limitações da Pegada Hídrica .....	16
2.3 – Teor de água virtual e comércio de produtos – relação com a Pegada Hídrica. ....	18
2.3.1 – Teor de água virtual .....	18
2.3.2 – Comércio de produtos .....	19
2.4 – Comparação com Pegada Ecológica e Pegada de Carbono .....	19
2.5 – Comparação com o ACV .....	23
2.6 – Casos de Estudo .....	25
2.6.1 – Caso Ambev e Natura .....	25
2.6.2 – Caso Raisio .....	27

---

2.6.3 – Caso SABMiller .....	28
2.7 - Aplicações do conceito de Pegada Hídrica .....	30
2.7.1 - Nível Governamental .....	30
2.7.2 - Nível Empresarial .....	33
2.7.3 – A nível social .....	34
2.8 – Outras metodologias de quantificação do consumo de água. ....	35
Capítulo 3 – Caso de estudo: Cálculo da Pegada Hídrica do tijolo cerâmico.....	38
3.1– Setor da cerâmica .....	39
3.1.1 – Breve História .....	39
3.1.2 – Tijolo .....	42
3.1.3 – Tijolo em Portugal.....	43
3.1.4 - Processo de fabrico do tijolo .....	46
3.2 – Metodologia para o cálculo da Pegada Hídrica do tijolo cerâmico.....	50
3.2.1 – As etapas da Pegada Hídrica .....	50
3.2.2 – Cálculo Pegada Hídrica Azul .....	52
3.2.3 – Cálculo da Pegada Hídrica Verde .....	53
3.2.4 – Cálculo da Pegada Hídrica Cinzenta.....	53
3.2.5 – Pegada Hídrica associada ao processo de produção do tijolo cerâmico .....	54
3.3 – Definição dos Objetivos e do Âmbito .....	54
3.4 - Análise e Discussão dos Resultados .....	57
3.4.1 – Pegada Azul .....	57
3.4.2 – Pegada Verde.....	58
3.4.3 – Pegada Cinzenta .....	58
3.4.4 – Pegada Hídrica associada a produção do tijolo .....	59
3.5 - Análise da Sustentabilidade e Formulação de respostas. ....	60
Capítulo 4 – Conclusão e trabalhos futuros .....	62
Bibliografia .....	64

## Índice de Figuras

Figura 1 - Esquema ilustrativo das componentes da Pegada Hídrica – (Adaptado de Hoekstra <i>et al</i> , 2011).....	6
Figura 2 - Pegada Hídrica de diferentes países ( $m^3$ /habitante/ano) (Hoekstra & Chapagain, 2008). ....	7
Figura 3 - Esquematização do sistema de produção para produzir o produto p em etapas de processo k – (Adaptado de Hoekstra <i>et al</i> , 2011).....	13
Figura 4- Esquematização da última etapa do processo no sistema de produção para produzir o produto p – (Adaptado de Hoekstra <i>et al</i> , 2011).....	15
Figura 5- Pegada Ecológica da Humanidade – (Adaptado de Hails <i>et al</i> , 2008). ....	21
Figura 6 - Fases do ciclo de vida (AEA, 2007) .....	24
Figura 7 - Capacidade instalada das empresas por distrito e valores de produção de 2008 (APICER & CTCV, 2009).....	44
Figura 8 – Diagrama de produção do tijolo. ....	56

## Índice de Tabelas

Tabela 1 - Comparação entre a família de pegadas (Galli <i>et al</i> , 2004). .....	21
Tabela 2 – Questões críticas que devem ser colocadas, aquando da avaliação da sustentabilidade da Pegada Hídrica.....	51
Tabela 3 - Características Técnicas do tijolo cerâmico de alvenaria 30x20x11 .....	55
Tabela 4 - Emissões para a água .....	58
Tabela 5 Pegada hídrica associada à produção do tijolo .....	60

## Índice de Gráficos

Gráfico 1- Percentagem de capacidade instalada por distrito (APICER & CTCV, 2009). .....	45
Gráfico 2 - Frequência de empresas por classes de capacidade produtiva instalada (APICER & CTCV, 2009). .....	45
Gráfico 3 – Número de empresas classificadas por número de colaboradores (APICER & CTCV, 2009). .....	46

## Lista de Abreviaturas e de siglas

ACV – Análise de Ciclo de Vida

APICER – Associação Portuguesa da Indústria de Cerâmica

AWS – Alliance for Water Stewardship

CEE – Comunidade Económica Europeia

CQO – Carência Química de Oxigénio

CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono

CTCV – Centro Tecnológico de Cerâmica e Vidro

GEE – Gases com efeitos de estufa

IBM – International Business Machines

ISO – International Organization for Standardization

Kg – Quilograma

LCA – Life Cycle Assessment

OECD – Organization for Economic Co-operation and Development

ONG – Organização Não Governamental

PA - Pegada de Água

PE – Pegada Ecológica

SST – Sólidos Suspensos Totais

EU – União Europeia

WFN – Water Footprint Network

WBCSD – World Business Council for Sustainable Development

WWC – World Water Council

WWF – Water Wildlife Fund

## Capítulo 1 – Introdução

### 1.1 – Enquadramento e relevância do tema.

Cada “passo” que se dá no dia-a-dia permite “avançar” nas mais diversas rotinas e objetivos da vida, mas representa também um “consumo” de recursos naturais que necessariamente fazem parte da estrutura dos bens e serviços que estão disponíveis. Medir estes “passos” em termos ambientais significa contabilizar a “pegada” da humanidade.

A pegada ecológica deu lugar, recentemente, à pegada do carbono e também à pegada hídrica. A estratégia de preservação do ambiente passa cada vez mais pela consciencialização do impacte associado ao que se consome ou aos serviços de que se dispõe. É nada mais fácil de entender que um impacte expresso em números, neste caso, no “tamanho” de uma “pegada”.

A água é um recurso natural precioso, vital para a vida para o desenvolvimento e para o ambiente. É um dos recursos mais importantes, sendo indispensável à grande maioria das atividades económicas, desempenhando um papel fundamental na fixação e desenvolvimento das comunidades.

O aumento do consumo dos diversos recursos e materiais disponíveis na natureza está diretamente relacionado com o aumento da população e com o desenvolvimento da qualidade de vida. Enquanto nos últimos 100 anos a população mundial viu o seu número triplicar, o consumo de água para as atividades humanas, em igual período, cresceu cerca de seis vezes (Pedroso, 2009).

A explosão demográfica dos últimos 150 anos deixa antever que a água seja um dos grandes problemas do século XXI. Até metade do século XX, as necessidades de água cresceram gradualmente, acompanhando o lento aumento populacional. No entanto, na segunda metade desse século, o desenvolvimento da sociedade e a elevação do nível de vida determinados pelo avanço tecnológico e industrial, a que se associaram a expansão urbanística, a agricultura e a produção de energia elétrica, geraram uma maior necessidade de procura de água (WWC, 2003).

Analisando o problema da água, a sua utilização e poluição crescentes, no Relatório da WWF, Planeta Vivo 2008, “o uso insustentável de água é um problema crescente no mundo e o declínio dos ecossistemas hídricos é mais acentuado que o declínio da biodiversidade marítima terrestre”. Mais do que em qualquer outro recurso, “a revolução da sustentabilidade” torna-se necessária e urgente em relação à água. Para além, naturalmente, do controlo da poluição, o aumento da eficiência no uso da água torna-se hoje imperioso. A maior parte das ineficiências verifica-se na agricultura, mas, em termos de valor económico, o setor urbano representa uma parcela muito importante. A eficiência nas redes públicas e a eficiência hídrica nos edifícios tem uma importância crescente. Vive-se a época da “eficiência energética dos edifícios” mas tem que se passar rapidamente para a “eficiência energética e hídrica dos edifícios” como referiu Johannes Hahn, o comissário Europeu da Política Regional.

Há pouca consciência de que a organização e as características de uma cadeia de produção e abastecimento influenciam fortemente os volumes e a distribuição temporal e espacial da água, sendo que a água consumida e poluída pode ser associada ao consumo final do produto (Seixas, 2011).

Hoekstra & Chapagain (2008), demonstraram que através da quantificação da água incorporada nos produtos, se pode calcular os efeitos do consumo e do comércio desses produtos no uso dos recursos hídricos. Esta compreensão poderá servir de base a uma melhor e mais adequada gestão da água doce existente no planeta. Descobrimos a ligação escondida entre o consumo e o uso de água podemos formar a base para a formulação de novas estratégias de gestão da água, pois os novos caminhos para a mudança podem ser identificados.

O uso da água está presente na produção de qualquer produto acabado destinado ao consumidor, seja ele alimentício ou bem de consumo para a melhoria da qualidade de vida. A água pode estar incorporada no produto ou pode simplesmente ter sido utilizada no seu processo produtivo. Face a este enquadramento, a motivação para a realização deste trabalho prende-se pelo fato da água ser um recurso limitado e que depois de utilizado altera as suas características não podendo, regra geral ser

consumido novamente sem estar sujeito a um processo de tratamento, o que encarece a sua utilização.

Como o conceito de Pegada Hídrica é uma matéria relativamente emergente pretende-se com este trabalho dar uma contribuição para a prática mais alargada do cálculo da Pegada Hídrica e como tal para além da descrição dos conceitos teóricos pretende fazer-se uma aplicação para se ter a sensibilidade para a utilização desta metodologia. Essa aplicação será feita à produção do tijolo cerâmico.

## 1.2. – Objetivos da Dissertação

Esta dissertação tem dois objetivos principais:

- Calcular a Pegada Hídrica do tijolo cerâmico, como exemplo de aplicação da Pegada Hídrica.
- Contribuir para a criação de uma base de dados das Pegadas Hídricas, de materiais de construção.

## 1.3 – Estrutura da Dissertação

A dissertação encontra-se dividida em 4 capítulos e subcapítulos sendo que as temáticas abordadas em cada uma deles têm como objetivo o enquadramento do trabalho realizado de acordo com os seguintes capítulos:

**Capítulo 1 - Introdução:** Apresenta o enquadramento necessário para conhecer em que contexto este estudo está inserido.

**Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica:** Apresenta as metodologias usadas na quantificação do consumo, sendo definido mais pormenorizadamente o conceito de Pegada Hídrica e a sua relação com outros termos e indicadores. São apresentadas também várias aplicações do conceito de Pegada Hídrica.

**Capítulo 3 – Caso de Estudo: Cálculo da Pegada Hídrica do tijolo cerâmico:** É feita uma caracterização do setor da cerâmica, principalmente do tijolo. São também descritos os processos envolvidos na produção do tijolo. É descrita a metodologia aplicada para avaliar a Pegada Hídrica do caso de estudo desta dissertação. Apresenta-se o cálculo obtido da Pegada Hídrica e a discussão dos resultados finais.

**Capítulo 4 – Conclusão e trabalhos futuros:** Apresenta as conclusões finais do trabalho desenvolvido, bem como as propostas futuras.

## Capítulo 2 - Revisão Bibliográfica

### 2.1 – O conceito

O conceito de Pegada Hídrica, também designado por Pegada de Água (PA) ou Pegada Aquática, foi criado por Arjen Hoekstra, em 2002, como um novo indicador de consumo de água doce, que contabiliza o consumo direto de água de um produtor ou consumidor, bem como o seu consumo indireto. Segundo Hoekstra *et al.* (2011), a Pegada Hídrica é considerada como um indicador global de apropriação dos recursos de água doce. A Pegada Hídrica de um produto é o volume de água doce usado para produzir o produto, ao longo da cadeia de produção. Trata-se de um indicador multifuncional, que mostra os volumes consumidos de água doce por origem e os volumes poluídos por tipo de poluição. Todos os componentes da Pegada Hídrica são especificados geograficamente e temporalmente.

A Pegada Hídrica azul refere-se ao consumo de recursos de água azul (água subterrânea e superficial) ao longo da cadeia de produção do produto. A Pegada Hídrica verde refere-se ao consumo dos recursos de água verde, que se define como sendo a água da chuva armazenada no solo como humidade. A Pegada Hídrica cinzenta refere-se à poluição e é definida como o volume de água doce necessária para assimilar a carga de poluentes, com base nos padrões de qualidade de água existentes.

Como um indicador de consumo de água, a Pegada Hídrica difere do conceito tradicional “water withdrawal”, ou seja “retirada de água”, em três aspetos (Figura 1):

- a Pegada Hídrica não inclui o consumo de água azul quando essa água é restituída ao meio de onde foi retirada;
- não está limitada ao consumo de água azul, incluindo também a água verde e cinzenta;
- não é restrita ao consumo direto de água, inclui também o consumo indireto de água.

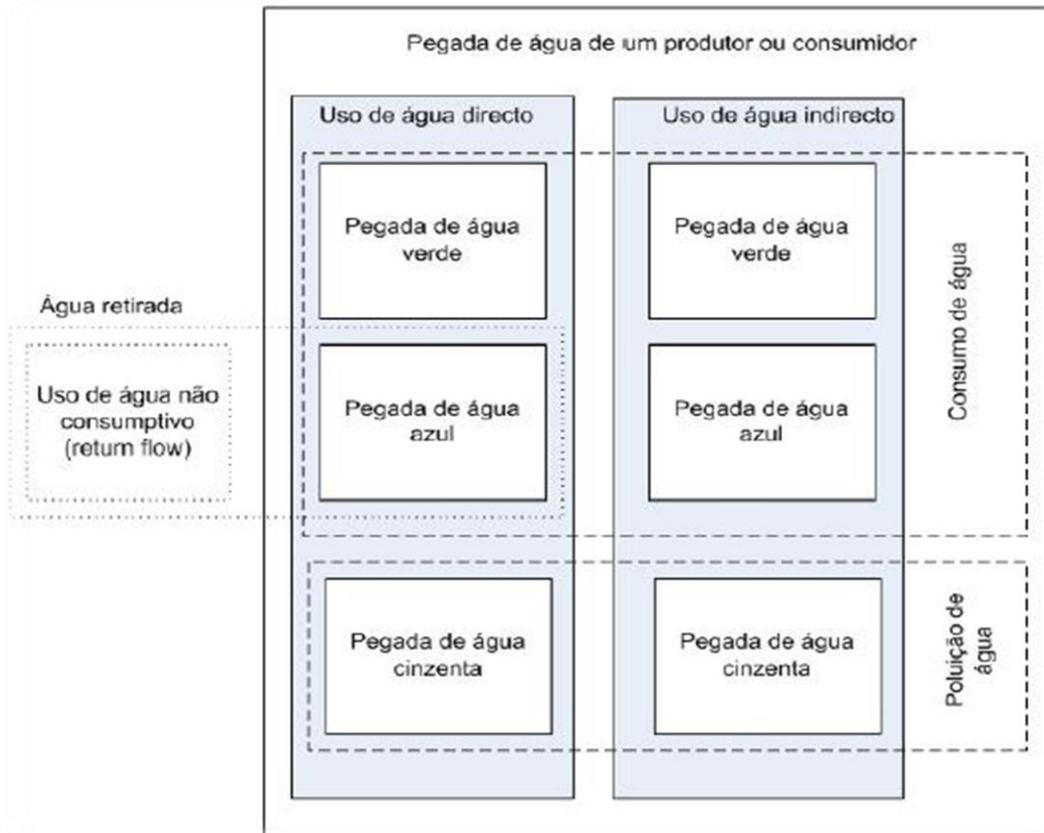


Figura 1 - Esquema ilustrativo das componentes da Pegada Hídrica – (Adaptado de Hoekstra *et al*, 2011).

A Pegada Hídrica oferece, assim, uma melhor e mais vasta perspetiva sobre o consumo de sistemas de água doce por parte de consumidores e produtores, sendo uma medida volumétrica do consumo de água e poluição. O impacto ambiental local de um determinado consumo de água e de poluição, depende da vulnerabilidade do sistema de água local e do número de consumidores e poluidores que utilizam esse sistema.

A média global da Pegada Hídrica é de aproximadamente 1385 m<sup>3</sup>/ano *per capita* ([www.waterfootprint.org](http://www.waterfootprint.org)), variando substancialmente este valor de país para país. Por exemplo, para Portugal a Pegada Hídrica é estimada em 2264 m<sup>3</sup>/habitante/ano (Hoekstra & Chapagain, 2008). A Figura 2 ilustra a Pegada Hídrica *per capita* dos diferentes países, permitindo ter uma visão global da distribuição desta pegada no mundo.

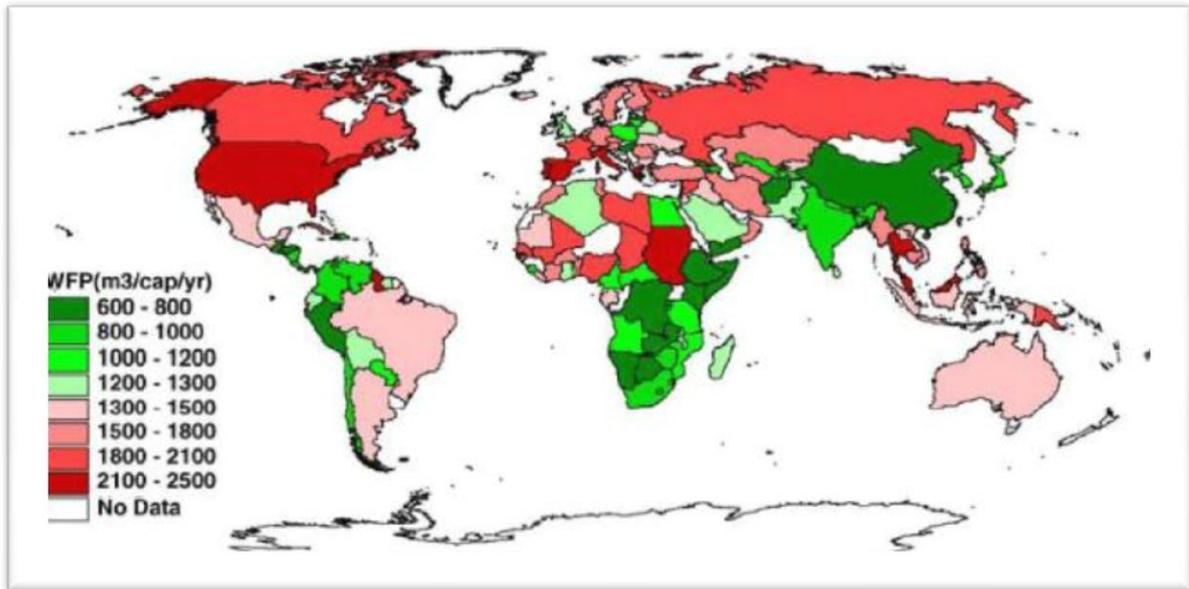


Figura 2 - Pegada Hídrica de diferentes países (m<sup>3</sup>/habitante/ano) (Hoekstra & Chapagain, 2008).

Os países assinalados com a cor verde são distinguidos por terem uma média nacional de Pegada Hídrica inferior à média global. Os países com a cor vermelha possuem uma Pegada Hídrica superior à média, como é o caso de Portugal.

Os países como a Índia e a China, têm reduzidas Pegadas Hídricas, devido a sua elevada densidade populacional; os Estados Unidos são o país a nível mundial com a pegada mais elevada.

## 2.2 – Tipos de Pegada

### 2.2.1 – Pegada Hídrica direta e indireta

A Pegada Hídrica direta refere-se ao consumo de água e poluição relacionados com o uso doméstico, tendo como exemplos, a água usada em habitações e nos jardins. A Pegada Hídrica indireta refere-se ao consumo e poluição associados à produção de bens e serviços usados pelo consumidor (Hoekstra *et al*, 2011).

Habitualmente, a Pegada Hídrica indireta é superior à Pegada Hídrica direta. Todavia, por ser “invisível”, é esquecida. Na maioria dos casos a Pegada Hídrica de um

consumidor está mais associada aos produtos que se consome e não tanto à água que se usa em casa.

No que diz respeito às empresas a maior parte tem a sua Pegada Hídrica na cadeia de produção (Pegada Hídrica indireta) e não na etapa de operacionalização (Pegada Hídrica direta), sendo que medidas aplicadas na cadeia de produção são por isso mais eficazes economicamente.

Num determinado estudo, dependendo dos seus objetivos, a Pegada Hídrica pode incidir na análise de uma das duas componentes (direta ou indireta).

### **2.2.2 – Pegada Hídrica interna e externa**

A Pegada Hídrica interna refere-se ao uso dos recursos hídricos de um país para produzir os bens e serviços consumidos pelos seus habitantes. A Pegada Hídrica externa é a quantidade de recursos hídricos utilizados no exterior de um país e que são necessários para a produção de bens e serviços consumidos por esses habitantes, através da importação.

Numa análise breve da Pegada Hídrica externa, é exequível compreender as características do consumo nacional, analisando assim a dependência de um país face aos recursos hídricos externos.

### **2.2.3 – Pegada Hídrica Azul**

A Pegada Hídrica azul é um indicador do “consumo consumptivo” da chamada água azul, ou seja, como já foi definido, da água doce superficial ou subterrânea que se encontra diretamente dependente das variáveis hidrológicas que regulam o ciclo da água (precipitação, escoamento superficial, infiltração, evaporação, entre outras).

O termo “consumptivo” refere-se aos seguintes quatro casos:

- 1) a evaporação da água;
- 2) a água incorporada num produto;

- 3) a água que não retorna à mesma bacia hidrográfica (por exemplo, a água é repostada em outra bacia ou no mar);
- 4) a água que não retorna à mesma bacia hidrográfica no mesmo período (por exemplo, é retirado da bacia num período de escassez/retornando num período de elevada precipitação);

A primeira componente, evaporação, é geralmente a mais significativa. Portanto, muitas vezes é considerada o único “consumo consumptivo”, embora as outras três componentes devam ser incluídas quando são relevantes.

O uso consumptivo de água não significa que esta desaparece, pois a maioria da água retoma ao ciclo da água de forma natural. A água é um recurso renovável, mas isto não significa que a sua disponibilidade seja ilimitada. Num determinado período, a quantidade de água que recarrega as reservas de águas subterrâneas e que flui através de um rio é sempre limitado a um determinado valor. A Pegada Hídrica azul mede a quantidade de água disponível consumida num determinado período, ou seja, a água que não retomou imediatamente à mesma bacia hidrográfica. Desta forma, a Pegada Hídrica azul fornece uma medida de quantidade de água azul disponível consumida por seres humanos. A restante parte que não é consumida pelos seres humanos é deixado para sustentar os ecossistemas que dependem dos fluxos de água subterrâneas e superficiais (Hoekstra *et al*, 2011). A Pegada Hídrica azul é calculada de acordo com a expressão [1]:

$$WF_{proc, azul} = \text{água azul evaporada} + \text{água azul incorporada} + \text{perda no fluxo de retorno} \quad [1]$$

A unidade do processo da Pegada Hídrica azul ( $WF_{proc, azul}$ ) é o volume de água por unidade de tempo, por exemplo, por dia, por mês ou ano. Na divisão pela quantidade de produto que resulta do processo, a unidade da Pegada Hídrica azul expressa-se em termos de volume de água por unidade de produto.

A última componente (perda no fluxo de retorno) refere-se à parte do fluxo de retorno que não está disponível para reutilização no interior da bacia hidrográfica, no

período de tempo que é retirado, quer porque é retornado para outra bacia hidrográfica ou porque é retornado num outro período de tempo.

Na avaliação da Pegada Hídrica azul de um processo, dependendo do caso em estudo, pode ser relevante distinguir as diferentes fontes de água azul. A divisão mais significativa é entre água superficial, água subterrânea renovável e água subterrânea fóssil. Na prática, esta divisão não é feita com frequência devido à insuficiência de dados disponíveis.

#### **2.2.4 – Pegada Hídrica verde**

A Pegada Hídrica verde é um indicador do consumo humano dos recursos de água verde. A água verde está diretamente dependente da precipitação, evaporação potencial e dos requisitos das culturas. Esta água refere-se à precipitação que chega à superfície terrestre e é armazenada no solo e temporariamente permanece à superfície ou na vegetação, ou seja, que não sofre escoamento superficial ou infiltração. Eventualmente, parte desta precipitação é evaporada ou é utilizada pelas plantas, tornando-se produtiva para o seu crescimento.

A Pegada Hídrica verde é o volume da água da chuva consumida durante o processo de produção. Isto é particularmente relevante para os produtos agrícolas e silvícolas, referindo-se a totalidade de precipitação evapotranspirada pelas culturas e campos, além da água incorporada nos produtos.

A Pegada Hídrica verde ( $WF_{proc,verde}$ ), expressa em volume de água por unidade de tempo, calcula-se de acordo com a expressão [2]:

$$WF_{proc,verde} = \text{Água verde evaporada} + \text{Água verde incorporada} \quad [2]$$

A distinção entre a Pegada Hídrica azul e verde é importante pois os impactes hidrológicos, ambientais e sociais, bem como os custos de oportunidade do uso das águas superficiais e subterrâneas para a produção, diferem de forma distinta dos impactes e dos custos de utilização da água da chuva (Hoekstra *et al*, 2011).

### 2.2.5 – Pegada Hídrica cinzenta

A Pegada Hídrica cinzenta é um indicador do grau de poluição da água doce, como já foi referido, é definida como o volume de água doce que é necessário para assimilar a carga de poluentes com base nos atuais padrões de qualidade ambiental da água.

A Pegada Hídrica cinzenta ( $WF_{\text{proc,cinzenta}}$ ) é calculada dividindo a carga poluente (L em massa/tempo) pela diferença entre a concentração do poluente e o padrão de qualidade da água desse poluente (a concentração máxima aceitável,  $C_{\text{max}}$ , expresso em massa/volume) e a sua concentração natural na massa de água recetora ( $C_{\text{nat}}$  expressa em massa/volume), [3]:

$$WF_{\text{proc,cinzenta}} = \frac{L}{C_{\text{max}} - C_{\text{nat}}} \quad [3]$$

A concentração natural de um poluente num corpo recetor é a concentração na massa de água que ocorreria caso não houvesse perturbações humanas da qualidade da água na zona da captação. Para as substâncias de origem antropogénica, que em condições naturais não se encontrariam presentes na água, e quando as concentrações naturais não são conhecidas com precisão, mas estima-se que sejam baixas, admite-se que a concentração natural na massa de água recetora é nula ( $C_{\text{nat}}=0$ ).

O motivo por que a concentração natural se utiliza como referência e não a concentração real deve-se ao facto de a Pegada Hídrica cinzenta ser um indicador de capacidade de assimilação apropriada. A capacidade de assimilação de um corpo recetor depende da diferença entre o máximo permitido e a concentração natural de uma substância.

Os cálculos da Pegada Hídrica cinzenta são realizados usando as normas de qualidade ambiental da água para a massa recetora, ou seja, por outras palavras, as normas que indicam as concentrações máximas admissíveis dos poluentes nas massas de água recetoras. Tal acontece porque a Pegada Hídrica cinzenta tem como objetivo determinar o volume de água necessário para assimilar produtos poluentes.

É de salientar que para a mesma substância, o padrão de qualidade ambiental da água pode variar de acordo com a massa de água em questão tal como a concentração natural pode variar tendo em conta a localização. Então, uma carga poluente pode resultar numa determinada Pegada Hídrica cinzenta num certo local e, num outro local, uma outra Pegada Hídrica cinzenta, com maior ou menor impacto, determinada pela diferença entre a concentração máxima permitida e a concentração natural do local em causa.

## **2.2.6 – Pegada Hídrica de um produto**

### **2.2.6.1 – Definição**

A Pegada Hídrica de um produto é definida como o volume total de água doce que é usada diretamente e indiretamente para produzir o produto. É estimada considerando o consumo de água e a quantidade de poluição em todas as etapas de produção.

O procedimento utilizado é similar a todos os tipos de produtos, quer sejam agrícolas ou industriais. A Pegada Hídrica de um produto decompõe-se nas componentes: água azul, verde e cinzenta.

No caso dos produtos agrícolas, a Pegada Hídrica é geralmente expressa em metros cúbicos por tonelada de produto ( $m^3/ton$ ) ou litros por quilograma de produto ( $l/Kg$ ). Em muitos casos e para certos produtos, pode ser ainda expressa em volume de água por tipo de produto. No caso dos produtos industriais, a Pegada Hídrica é expressa em metros cúbicos por US\$ ( $m^3/US\$$ ) ou volume de água por tipo de produto. Outras formas de expressar uma Pegada Hídrica de um produto são, por exemplo, volume de água por quilocaloria (quando estão em causa produtos alimentares) ou volume de água por joule (energia elétrica ou combustíveis).

### **2.2.6.2 – Sistema de produção e respetivas etapas de processo**

Para estimar a Pegada Hídrica de um produto é essencial compreender toda a sua cadeia de produção, sendo necessária a identificação de todo o sistema de

produção. Um sistema de produção consiste numa sequência de etapas de processo. Um exemplo simplificado de um sistema de produção, estudado por Hoekstra *et al*, em 2006 passa pelo crescimento do algodão e compreende o colher, descaroçar, cardar, tricotar, branquear, tingir, imprimir e o acabar. Todas estas etapas possuem *inputs* que deverão ser contabilizados para a obtenção da Pegada Hídrica total do algodão.

### 2.2.6.3 – Cálculo da Pegada Hídrica de um produto

A Pegada Hídrica de um produto pode ser calculada de duas maneiras alternativas: utilizando a abordagem *chain-summation* ou a abordagem *stepwise accumulative*. A primeira abordagem pode ser aplicada em casos particulares e a segunda abordagem em casos mais genéricos.

A abordagem *chain-summation* é apenas aplicada no caso de um sistema de produção produzir um único produto final (Figura 3).

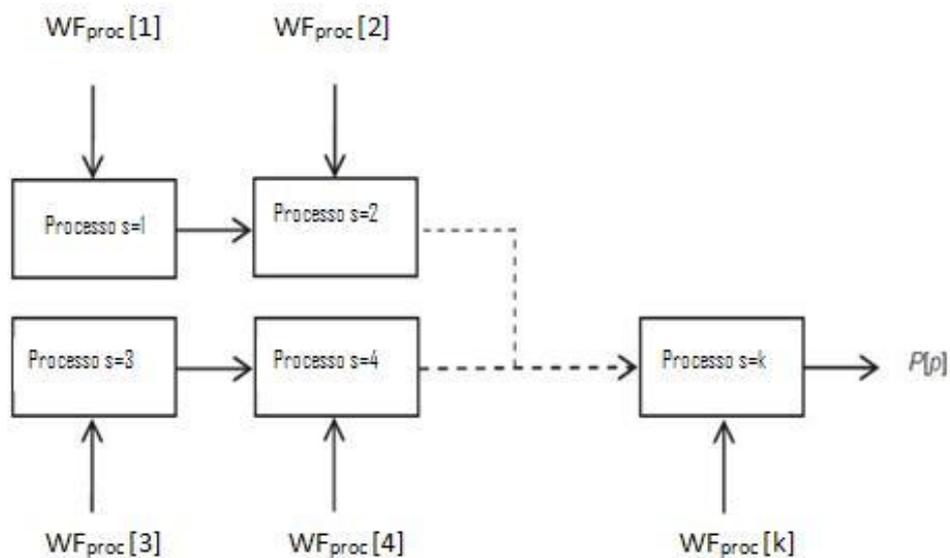


Figura 3 - Esquematização do sistema de produção para produzir o produto p em etapas de processo k – (Adaptado de Hoekstra *et al*, 2011).

Neste caso particular, as Pegadas Hídricas associadas às diversas etapas do sistema de produção podem ser totalmente atribuídas ao produto que resulta do sistema. Neste sistema, a Pegada Hídrica de um produto p (expressa em volume por massa do produto) é igual ao soma das Pegadas Hídricas dos processos relevantes dividida pela quantidade de produção do produto p, [4]:

$$WF_{prod}[p] = \frac{\sum_{s=1}^K WF_{proc}[s]}{P[p]} \quad [4]$$

Em que,  $WF_{proc}[s]$  é a Pegada Hídrica do processo  $s$  (volume/tempo) e  $P[p]$  é a quantidade produzida do produto  $p$  (massa/tempo) e  $k$  é o número de etapas do processo.

Na prática, raramente existem sistemas de produção simples, como o apresentado na Figura 3, tornando-se necessário encontrar uma forma mais genérica que consiga distribuir a água utilizada em todo o sistema produtivo nos vários produtos de saída que decorrem desse sistema, sem que ocorra dupla contagem – a abordagem *stepwise accumulative*.

A abordagem *stepwise accumulative* é uma abordagem mais genérica da Pegada Hídrica de um produto e é baseada no caso de se possuir vários produtos de entrada que originam o produto final, então, para a obtenção da Pegada Hídrica deste mesmo produto, procede-se ao somatório das Pegadas Hídricas dos produtos de entrada e adiciona-se a Pegada Hídrica de cada processo. Todavia, se contiver um único produto de entrada e vários produtos finais, é necessário distribuir a Pegada Hídrica do produto de entrada pelos seus produtos finais. Isto podia ser feito proporcionalmente ao valor dos produtos de saída ou também proporcionalmente ao peso dos produtos, mas neste caso seria menos significativo. A Figura 4 ilustra estes dois tipos de sistemas produtivos:

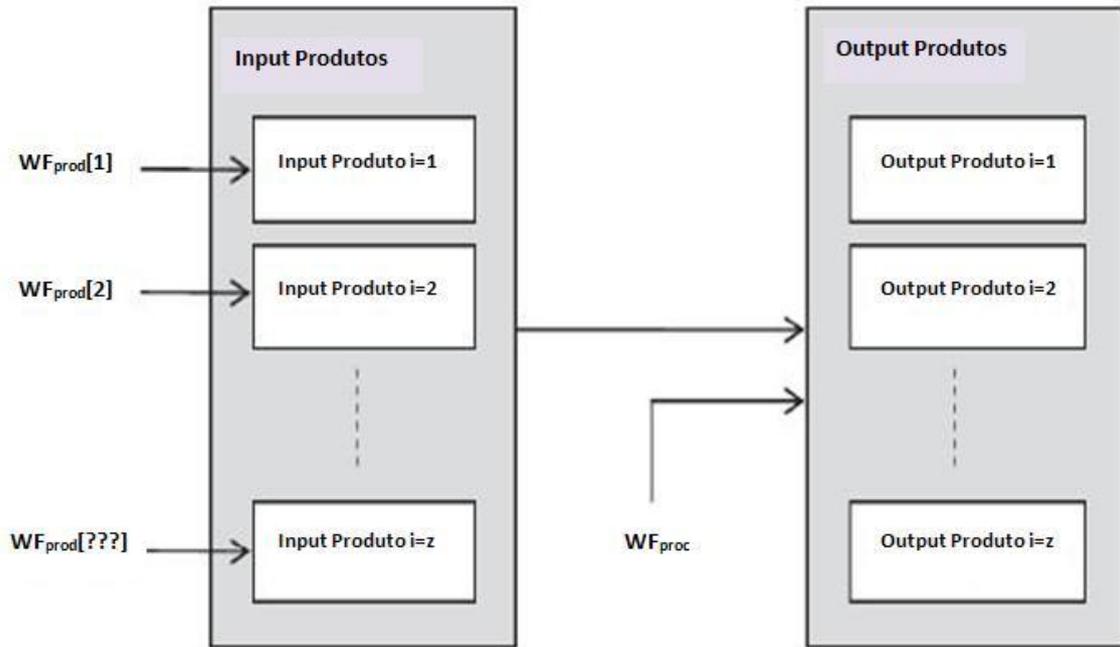


Figura 4- Esquemática da última etapa do processo no sistema de produção para produzir o produto p – (Adaptado de Hoekstra *et al*, 2011).

Assim, para fazer a análise da Pegada Hídrica de um produto, é necessário acima de tudo compreender o processo produtivo que lhe deu origem, bem como a identificação de todos os *inputs* utilizados na sua conceção.

### 2.2.7 – Pegada Hídrica de um consumidor ou grupo de consumidores

A Pegada Hídrica de um consumidor é definida como volume total de água doce consumido e poluído para a produção de bens e serviços utilizados pelo mesmo. A Pegada Hídrica de um conjunto de consumidores é igual à soma das Pegadas Hídricas individuais dos consumidores.

A Pegada Hídrica de um consumidor é calculada pela adição da Pegada Hídrica direta e indireta do mesmo, expressa em volume por tempo.

A água consumida de forma indireta é calculada multiplicando todos os produtos consumidos pela sua respetiva pegada, [5]:

$$WF_{cons,indir} = \sum(C[p] \times WF_{prod}[p]) \quad [5]$$

Em que  $C[p]$  é o consumo do produto  $p$  (unidades de produto/tempo),  $WF_{prod,indir}$  é a Pegada Hídrica do produto  $p$  (volume de água/unidade de produto) e expressa-se em volume por tempo.

O volume total do produto  $p$  consumido, geralmente provém de diferentes lugares  $x$ . A Pegada Hídrica média de  $p$  é calculada da seguinte forma, [6]:

$$WF_{prod}[p] = \frac{\sum(C[x,p] \times WF_{prod}[x,p])}{\sum(C[x,p])} \quad [6]$$

Em que,  $C[x,p]$  é o consumo do produto  $p$  na origem  $x$  (unidades de produto/tempo) e  $WF_{prod}[x,p]$  é a Pegada Hídrica do produto  $p$  na origem  $x$  (volume de água/unidade de produto), expressa em volume por unidade de produto.

Há a possibilidade de rastrear a origem dos produtos com maior ou menor exatidão, dependendo do nível desejado de detalhe da análise. Caso não seja possível traçar as origens dos produtos consumidos, a única solução será utilizar as estimativas médias globais ou nacionais para as Pegadas Hídricas dos produtos em causa.

A Pegada Hídrica de bens e serviços privados são exclusivamente distribuídos pelos consumidores desse bem ou serviço privado. As Pegadas Hídricas de bens e serviços públicos compartilhados são repartidos pelos consumidores com base na apropriação de cada consumidor (Hoekstra *et al*, 2011).

### 2.2.8 – Limitações da Pegada Hídrica

O conceito de Pegada Hídrica é relativamente recente e a sua avaliação uma nova ferramenta. A avaliação da Pegada Hídrica é uma ferramenta útil para quantificar e localizar Pegadas Hídricas, para avaliar se essas pegadas são sustentáveis e identificar opções para as reduzir, se necessário.

A Pegada Hídrica não é mais do que um indicador relevante num tema muito amplo do desenvolvimento sustentável, justiça e uso eficiente dos recursos naturais. Evidentemente, temas como o desenvolvimento sustentável necessitam de uma abordagem multidisciplinar, devendo por isso ser complementado com uma grande variedade de outros indicadores relevantes. Do mesmo modo, a avaliação da Pegada Hídrica não é mais do que uma ferramenta para entender as complexas relações entre a sociedade e o ambiente, centrando-se sobre a utilização dos recursos de água doce em função da sua limitada disponibilidade. Este indicador não aborda as questões da água que não estão relacionadas com a escassez, nomeadamente enchentes ou falta de infraestruturas de abastecimento de água adequando às comunidades carenciadas.

A avaliação da Pegada Hídrica é, assim, um instrumento parcial, que deverá ser usado em combinação com outros meios analíticos, a fim de proporcionar uma compreensão de toda a gama de questões relevantes na tomada de decisões. A rápida adoção da Pegada Hídrica como um indicador global de apropriação humana de água doce é muito útil para colocar a escassez de água doce na agenda de governos e empresas (Hoekstra *et al*, 2011).

Resumindo, as principais limitações da Pegada Hídrica são as seguintes:

A avaliação da Pegada Hídrica concentra-se na análise da utilização da água doce, tendo em conta os recursos limitados deste tipo de água, não abordando outros temas ambientais como as alterações climáticas, a depleção de minerais, a fragmentação de habitats, a limitada disponibilidade de terra ou a degradação do solo. Também não tem em conta os aspetos sociais ou económicos, tais como a pobreza, o emprego e o bem-estar. A avaliação da Pegada Hídrica dá ênfase às questões ambientais, sociais e económicas, apenas na medida em que o consumo dos recursos hídricos afeta a biodiversidade, saúde, assistência social ou a distribuição justa e equitativa deste recurso. É necessário reconhecer que a redução da Pegada Hídrica da humanidade é somente um desafio para ser observado num contexto mais amplo e num extenso leque de outros desafios (Hoekstra *et al*, 2011).

A avaliação da Pegada Hídrica aborda as questões da escassez da água doce e da sua poluição, porém não tem em conta a problemática das inundações, bem como

a problemática da escassa acessibilidade de certas populações à água potável, uma vez que se trata de uma questão de pobreza e não de um problema de escassez de água. Além disso, a Pegada Hídrica refere-se à água doce e não ao uso e poluição da água do mar. A avaliação da Pegada Hídrica é limitada na consideração das atividades humanas dentro de uma bacia hidrográfica.

## **2.3 – Teor de água virtual e comércio de produtos – relação com a Pegada Hídrica.**

### **2.3.1 – Teor de água virtual**

O conceito de “água virtual” originou algumas discussões na comunidade científica. Este conceito foi desenvolvido pelo professor John Antony Allan, do Departamento de Geografia do King College, Londres, em 1994 surgindo após o próprio admitir que o termo “embedded water”, por si criado, não teve êxito na medida em que não tinha o devido reconhecimento pelos gestores de recursos hídricos (Allan, 2003).

Para Hoekstra & Chapagain (2008) o “teor de água virtual” de um produto refere-se ao volume de água usado para produzir esse produto, medido no local onde, realmente, este foi produzido, enquanto a Pegada Hídrica refere-se não apenas ao volume de água, mas também ao tipo de água que foi usada (verde, azul ou cinzenta), e onde e quando a água foi usada. Usa-se o termo “teor de água virtual” num contexto de fluxo de água virtual internacional ou inter-regional, ou ainda, se um país importa/exporta um produto, diz-se que este país importa/exporta a água na forma virtual (Hoekstra *et al*, 2011).

O adjetivo virtual refere-se ao fato da maioria da água utilizada na produção não estar contido no interior do produto. O teor de água real dos produtos é geralmente insignificante quando comparado com o teor de água virtual. Por exemplo, a média global do teor de água virtual do trigo é 1300 m<sup>3</sup>/ton, enquanto o teor de água real é inferior a 1 m<sup>3</sup>/ton (Hoekstra & Chapagain, 2008).

### 2.3.2 – Comércio de produtos

Os principais objetivos deste estudo é a quantificação da Pegada Hídrica de um produto e contribuir para a criação de uma base de dados das Pegadas Hídricas dos materiais de construção mas é pertinente referir a relação que o valor da Pegada Hídrica de um produto (neste caso o teor de água virtual do produto) poderá ter com o comércio de produtos.

Como foi referido na seção anterior (seção 2.3.1), o termo teor de água virtual é mais adequado do que a Pegada Hídrica, quando se expressa a importação/exportação de produtos, ou simplesmente, comércio (internacional) de produtos. O comércio internacional de produtos origina normalmente um fluxo de água virtual entre países ou entre regiões associado aos produtos importados/exportados. Hoekstra & Chapagain (2008) estimaram que o fluxo de água virtual internacional durante o período 1997-2001 é, em média, cerca de 1625 bilhões de m<sup>3</sup>/ano, sendo que 61% desse fluxo esteve relacionado com o comércio internacional de culturas agrícolas e produtos derivados de culturas agrícolas. O comércio internacional de produtos agrícolas depende de muitos mais fatores para além das diferenças da escassez água entre os países de comercialização, entre os quais, as diferenças de disponibilidade de solo, tecnologia, capital, bem como, a existência de subsídios de exportação ou taxas de importação. No âmbito das políticas da água, a inclusão dos efeitos do comércio dos produtos deveria ser tomada como uma medida importante.

### 2.4 – Comparação com Pegada Ecológica e Pegada de Carbono

O conceito de Pegada Hídrica faz parte de uma grande família de conceitos que foram desenvolvidos nas ciências do ambiente na última década. A Pegada é, em geral, conhecida como uma medida quantitativa, mostrando a apropriação de recursos naturais pelo ser humano.

O conceito de Pegada Hídrica tem semelhanças com os conceitos de Pegada Ecológica e Pegada de Carbono. As origens e as finalidades dos três conceitos é que diferem entre si (Hoekstra, 2008b).

A Pegada Ecológica mede o uso de espaço biologicamente produtivo (hectares). A Pegada de Carbono mede a energia usada em termos do volume de emissões de dióxido em carbono (em toneladas). A Pegada Hídrica mede o consumo total de recursos de água doce (em m<sup>3</sup>/ano).

Foi no começo dos anos 70, que William Rees desenvolveu o conceito de “regional capsule” como instrumento de ensino para estimular estudantes de diferentes disciplinas a refletirem sobre a capacidade de suporte humana. E, na década de 80, propôs o conceito da Pegada Ecológica tendo Mathis Wackernagel como coautor do livro: “Our Ecological Footprint” (Cidin & Silva, 2009).

O conceito foi originalmente desenvolvido no Canadá como um instrumento de planeamento e tem vindo a ser aprimorado para análises mais precisas e completas. Nessa mesma época, William Catton acrescentou o conceito de “overshoot”; comparando a pegada com a capacidade bioprodutiva da terra disponível no planeta (Cidin & Silva, 2009).

Foi no ano de 1996 que estes estudiosos publicaram o livro: “A nossa Pegada Ecológica – Reduzir o Impacto Humano na Terra (“Our Ecological Footprint – Reducing Human Impact in the Earth”). Estes autores definiram Pegada Ecológica como sendo a área de terra e mar que seria necessária para suportar o estilo de vida da população (Wackernagel & Rees, 1998).

A maior preocupação destes autores foi quantificar o espaço necessário para abastecer a população mundial com o que consome. A humanidade passou a utilizar, em termos líquidos, cerca de metade da bio capacidade do planeta em 1961 para 1,3 vezes a bio capacidade do planeta em 2003 (Figura 5) (Hails *et al*, 2008).

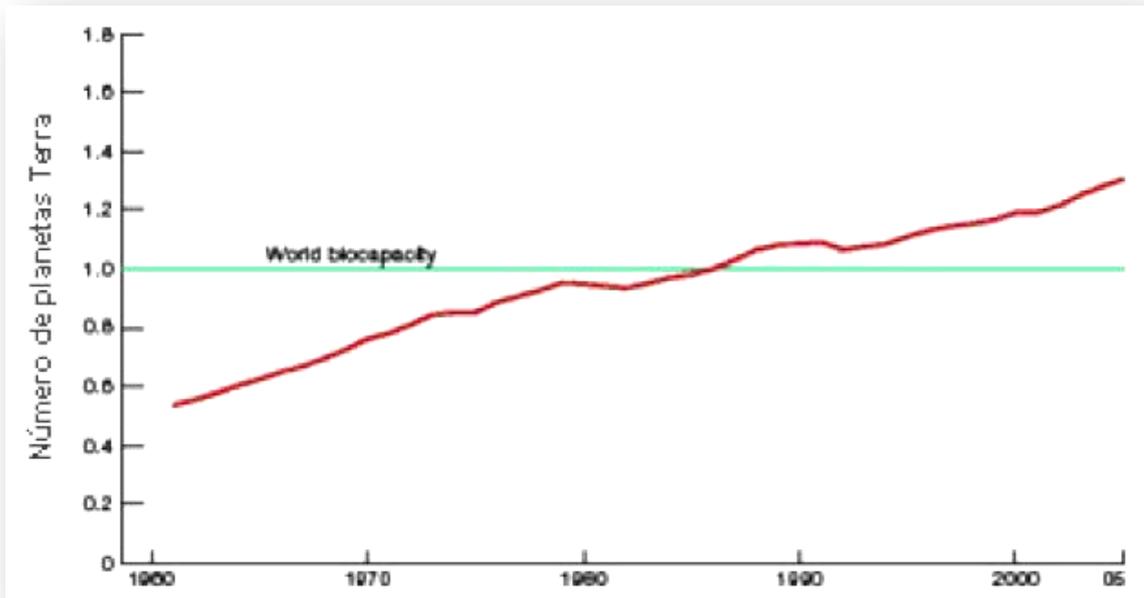


Figura 5- Pegada Ecológica da Humanidade – (Adaptado de Hails *et al*, 2008).

A Pegada de Carbono foi formulada mais tarde para quantificar a contribuição de várias atividades nas alterações climáticas. Mede a quantidade total de emissões de gases efeitos de estufa (GEE) que são direta e indiretamente causadas por uma atividade (de indivíduos, populações, governos, empresas, organizações, processos, setores da indústria, entre outros) ou ao longo dos estágios de vida de um produto. A Pegada de Carbono é normalmente expressa em CO<sub>2</sub> equivalente (em toneladas) (Hoekstra, 2008).

A tabela 1 faz uma comparação entre estes três indicadores, revelando o seus aspetos mais importantes. As semelhanças e diferenças entre estes indicadores ilustram como estes se sobrepõem, interagem e se complementam.

Tabela 1 - Comparação entre a família de pegadas (Galli *et al*, 2004).

	Pegada Hídrica	Pegada Ecológica	Pegada de Carbono
Definição	Apropriação de água doce requerida para consumo humano.	Quantidade da capacidade regenerativa da biosfera utilizada direta ou indiretamente pela humanidade,	Quantidade total de GEE emitidos (CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, HFC, PFC e SF <sub>6</sub> ) provenientes direta ou indiretamente do

		comparada com a quantidade disponível.	consumo de bens e serviços ou acumulados ao longo do ciclo de vida dos produtos.
Unidades Utilizadas	Pegada Hídrica do processo: volume de água por unidade de tempo (normalmente m <sup>3</sup> /ano). Pegada Hídrica do produto: m <sup>3</sup> /ton ou l/Kg. Pegada Hídrica de uma área geográfica: volume de água por unidade de tempo.	Hectares globais (gHa) de terra produtiva. Os resultados também podem ser expressos em hectares físicos reais. Normalmente os valores vêm expressos <i>per capita</i> .	Quilogramas de CO <sub>2</sub> quando apenas se tem em conta o CO <sub>2</sub> ou em quilogramas CO <sub>2</sub> e quando estão incluídos mais GEE. Não existe conversão para unidade de área para evitar incertezas e suposições.
Abrangência do indicador	Geograficamente explícito. Multidimensional: utilizados para indivíduos, produtos, empresas, localidades, países, entre outros. Foi medida em 140 países entre 1997e 2001 (Hoekstra & Chapagain, 2004); Mede apenas o lado da procura em termos de água doce consumida (por fonte) e poluída (por tipo de poluição) pelas atividades humanas.	Temporalmente explícito. Multidimensional: utilizado para produtos, localidades, regiões, nações, mundo; Foi medida em aproximadamente 240 países, entre 1961 – 2007, sendo que 150 são publicados no WFN (Ewing, <i>et al</i> , 2010). Mede quer a exigência humana que o suprimento da natureza.	Multidimensional: aplicado a produtos, processos, empresas, setores industriais, indivíduos, governos, entre outros. Foi medida em 73 países e 14 regiões no ano de 2001 (Hertwich & Peters, 2009). Mede apenas o lado da procura em termos de quantidade de GEE emitidos.
Política de Utilidade	Fornece uma nova e global dimensão da gestão dos recursos hídricos. Ajuda os países a melhor compreender a sua dependência dos recursos hídricos externos. Identifica e impulsiona alternativas para reduzir o <i>stress</i> hídrico. Ajuda na análise de utilização de energias alternativas. Disponibiliza às empresas uma forma de controlar a sua dependência dos recursos hídricos ao longo da sua cadeia de abastecimento.	Identifica as várias pressões exercidas pelas atividades humanas nos ecossistemas. Monitoriza a sociedade em direção a um critério mínimo de sustentabilidade. Ajuda na análise de utilização de energias alternativas.	Oferece uma visão alternativa das políticas internacionais das alterações climáticas como complemento à metodologia utilizada pela UNFCCC. Proporciona uma melhor compreensão da responsabilidade dos países e facilita a cooperação internacional dos países desenvolvidos e em desenvolvimento. Ajuda na análise de utilização de energias alternativas. Pode ajudar a projetar um preço internacional

			harmonizado para as emissões dos GEE.
Pontos Fortes	Representação espacial da distribuição da procura de água por país. Visualiza a ligação entre consumo e apropriação da água doce.	Fornece uma avaliação agregada, existindo uma avaliação das múltiplas pressões antropogénicas. Facilidade em compreender e comunicar com uma mensagem forte de conservação.	Permite uma abrangente avaliação da contribuição das ações humanas nas emissões de GEE. Dados disponíveis das emissões para a maioria dos países.
Pontos Fracos	Contempla apenas a apropriação humana dos recursos hídricos. Os dados locais necessários para o cálculo da pegada raramente estão disponíveis. O cálculo da pegada cinzenta está dependente de fortes incertezas e pressupostos; Os fatores de <i>stress</i> hídrico não estão incluídos no cálculo.	Não abrange todos os aspetos da sustentabilidade nem todas as preocupações ambientais, especialmente para aquelas que não têm capacidade regenerativa. Não consegue prever a degradação do capital natural.	São necessários modelos adicionais para avaliar o impacto das alterações climáticas a nível nacional e local. Ainda não foi especificado o limiar da Pegada de Carbono embora o limiar de sustentabilidade para o aquecimento global tenha sido acordado.

## 2.5 – Comparação com o ACV

A avaliação dos impactes ambientais de um produto é feita através da análise do ciclo de vida (ACV). O típico ciclo de vida consiste numa série de estágios contínuos que vão desde a extração de matérias-primas até ao design, formulação, processamento, produção, embalagem, distribuição, uso, reutilização, reciclagem e por fim a eliminação de resíduos (Figura 6) (AEA, 1997).

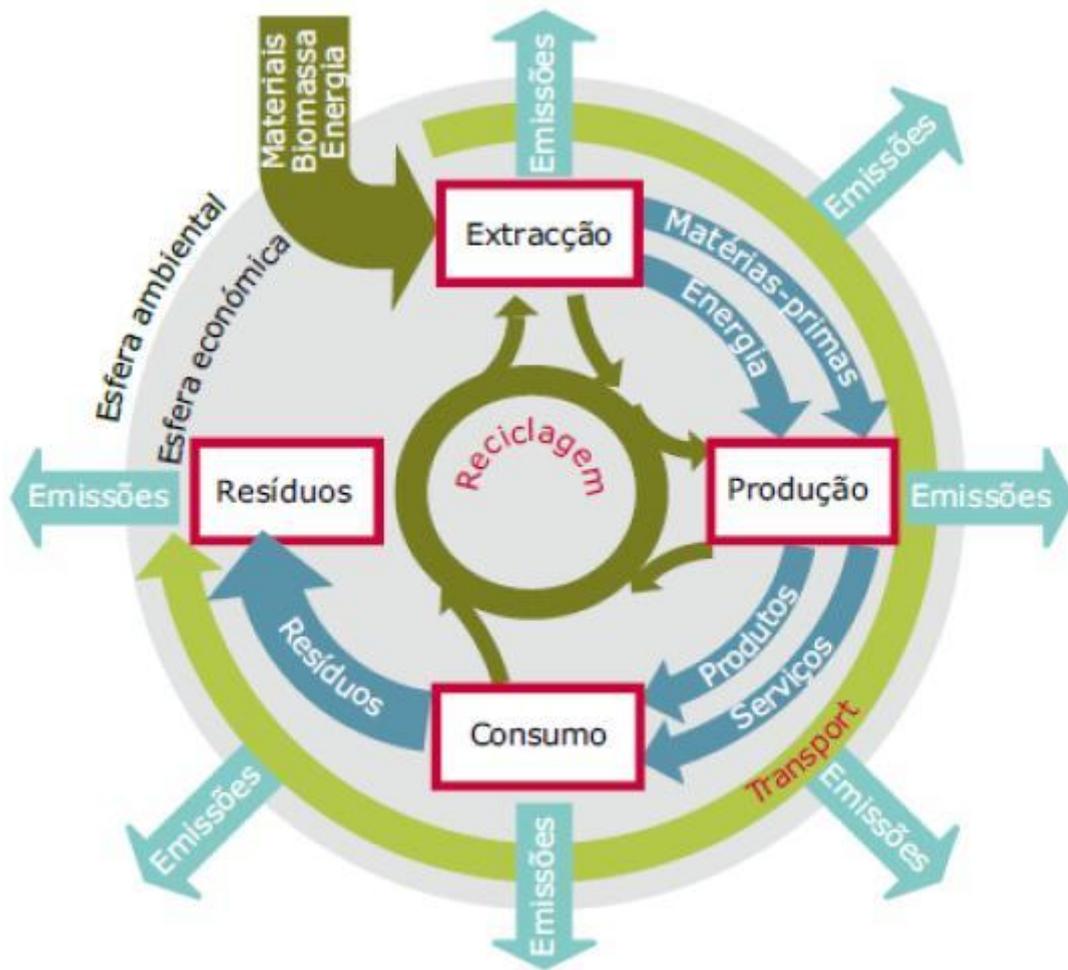


Figura 6 - Fases do ciclo de vida (AEA, 2007)

Segundo Klopffer (1998), o ACV “é essencialmente uma avaliação ambiental comparativa a gestão para sistemas de produtos, baseada em ciência.” A abordagem é do “berço ao túmulo”, daí o nome “Análise do Ciclo de Vida”. A base para a comparação é a unidade funcional representando a expressão quantitativa para o benefício dos sistemas em comparação. O ACV é orientado para o produto (incluindo serviços ou, na forma mais geral, atividades humanas).

A análise do ciclo de vida é uma técnica holística analítica para avaliar o impacto ambiental associado a um produto, processo ou atividade ao longo da sua “vida”. Quando usado como uma ferramenta de monitorização, a ACV pode, potencialmente, identificar processos e materiais que mais probabilidades têm de

constituir ameaça para a saúde humana e o ambiente, assim como onde se justifica a realização de uma avaliação de risco.

Segundo (Hoekstra *et al*, 2009), a Pegada Hídrica pode ser um indicador da ACV de um produto, isto é, a Pegada Hídrica deve ser visto como um complemento aos estudos da ACV. Na ACV, a agregação dos impactes é um requisito específico, enquanto esta questão é pouco relevante nas aplicações da Pegada Hídrica. Deste modo, no campo do ACV os vários impactes podem, de modo subsequente, ser pesados e agregados, a fim de chegar a um índice de impacte de uso de água agregado.

A metodologia de Avaliação Ciclo de Vida, segundo recomendação das normas ISO 14040 e ISO 14044 sugere que todos os aspetos ambientais relacionados à produção de um determinado produto sejam contabilizados por todo o ciclo de vida em um sistema de análise de inventário para a posterior avaliação do impacto ambiental. A metodologia da Pegada Hídrica mede a utilização de água nas atividades humanas e na produção de bens e serviços, considerando o consumo de água e sua contaminação. Trata-se de um instrumento de gestão que se baseia na promoção da eficiência no uso da água, na busca do uso sustentável da água e no estímulo ao compartilhamento equitativo da limitada disponibilidade hídrica.

## **2.6 – Casos de Estudo**

### **2.6.1 – Caso Ambev e Natura**

A Ambev e a Natura são duas empresas brasileiras ligadas à produção de cerveja e de cosméticos, respetivamente, que já começaram a desenvolver projetos para identificar a Pegada Hídrica em alguns dos seus processos com base na metodologia proposta pelo WFN.

Segundo João Maurício Castro Neves, diretor Geral da Ambev (Ambev, 2008): *“Acreditamos que a construção de uma companhia sustentável a longo prazo só é possível quando assumimos a conduta de nos preocupar, simultaneamente, com a geração de resultados económicos e de valores e benefícios para a sociedade e para o*

*meio ambiente.*” Neste contexto de preocupação com o meio ambiente, a Ambev, em parceria com a Universidade de São Paulo, tem vindo a realizar o cálculo da Pegada Hídrica da fábrica de Jaguariúna, no interior de São Paulo, na produção das latas de 350 ml e garrafas de 600 ml de cerveja. Ricardo Rolim, diretor de relações socio ambientais da Ambev afirma: *“A água representa 95% do nosso principal produto, a cerveja e, por isso, está no centro das ações de sustentabilidade da Ambev. A preservação é essencial para a manutenção do nosso negócio a longo prazo.”*

A Ambev reduziu 23% do consumo de água utilizada na fabricação de produtos, entre 2002 e 2008. Em 2008 foram utilizados em média apenas 4,11 litros de água por cada litro de bebidas produzidas contra 4,19 litros no ano anterior. Em 2002, o valor era ainda maior, sendo necessários em média 5,36 litros de água. Estes resultados só foram possíveis de alcançar devido ao reaproveitamento da água proveniente da produção em atividades como lavagem de tanques, garrafas e limpeza em geral. Na pasteurização, a água usada para elevar a temperatura da cerveja é a mesma que é usada para a refrigerar (Ambev, 2008).

A Natura, empresa dos setores dos cosméticos, é desde 2009, parceira da WFN, primeira organização internacional destinada à promoção do uso sustentável, equitativo e eficiente da água. Em 2010, a Natura realizou o primeiro inventário de água considerando a abordagem da Pegada Hídrica e que serviu de diagnóstico e base para elaboração de uma nova política e gestão da água. O levantamento foi desenvolvido de acordo com a metodologia do Manual da Pegada Hídrica, criado pelo WFN. A Natura foi a primeira empresa do setor dos cosméticos no mundo a aplicar esta tecnologia. Janice Cassara, responsável pelo departamento de sustentabilidade da empresa, afirma que *“os primeiros resultados permitiram-nos entender quais são os pontos críticos de impacto nos recursos hídricos ao longo da cadeia de valor da empresa e entender as limitações da metodologia do WFN”*. Este estudo foi concluído em 2010: *“Neste momento, estamos a realizar pesquisas complementares de aprofundamento e a discutir internamente como será utilizada e aplicada a metodologia para construir uma estratégia corporativa no tema de uso sustentável dos recursos hídricos”*, completa.

A Natura alcançou uma redução de 4,7% no volume de água consumido por unidade produzida no ano passado. Contribuíram para o resultado algumas ações de melhorias, tais como aprimoramentos no sistema de tratamento de água de uma das fábricas de Cajamar, a reutilização da água; um novo sistema de lavagem de *rentank* (tanques móveis); a substituição da água potável por água de reúso em subprocessos da Estação de Tratamentos de Efluentes (EFE) e pela identificação de oportunidades de racionalização nos terceiros. As melhorias implementadas na gestão ambiental também resultaram em ganhos na reutilização da água em 2011. O consumo de água por unidade produzida foi de 0,42L, 0,42L e 0,40L no período, respetivo de 2009, 2010 e 2011 (Os Indicadores sofreram alterações na metodologia e passou a considerar-se a unidade produzida em vez de unidade faturada e com isso os valores de 2010 e 2009 foram recalculados) (Natura, 2011).

### 2.6.2 – Caso Raisio

Nos últimos anos, diversos fabricantes europeus adotaram no rótulo de seus produtos, informações da quantidade emitida de CO<sub>2</sub> na sua produção – conhecida como Pegada de Carbono. Agora, surgem rótulos com dados sobre o consumo de água inerente ao produto, ou seja, informação sobre a Pegada Hídrica. A primeira empresa do mundo a estampá-las nas embalagens foi uma empresa de cereais da Finlândia, a Raisio, com faturação de 500 milhões de euros em 2008.

A Raisio não só mediu o uso de água para a produção da linha Elovena bem como utilizou um rótulo que indica a quantidade de água consumida na cadeia de produção – desde os campos de aveia até ao supermercado. Segundo a Raisio, para fabricar 100 gramas de aveia em flocos são consumidos, ao longo de toda a cadeia de produção, 101 litros de água, sendo a maior parte para o cultivo de aveia. Para chegar a este valor, a empresa recorreu a uma metodologia própria, na qual utilizou dados do Instituto de Meteorológico da Finlândia relativos à evaporação da água, levando todo o processo cerca de três meses a ser realizado e exigindo uma equipa de seis funcionários de áreas distintas (entre a fábrica e o relacionamento com fornecedores), além de um consultor externo, que já havia prestado auxílio à empresa na

determinação da Pegada de Carbono. *“Boa parte dos consumidores ainda não entende o conceito”*, afirma Pasi Lahdetie, vice-presidente de comércio de grãos da Raisio. *“No futuro, porém, será algo tão compreendido como o carbono”* (Exame, 1999).

Devido às condições climáticas da Finlândia, onde a precipitação é elevada, a empresa afirma que não é necessária a utilização de irrigação, sendo a água usada como parte do seu ciclo natural. Além disso, segundo a Raisio, não há descarga de efluentes líquidos, uma vez que os flocos de aveia são feitos por vaporização.

O movimento feito pelo Raisio começa a ser trilhado também por outras grandes empresas em todo o mundo.

A americana Levi Strauss calculou que a produção de cada jeans do tradicional modelo 501 consome quase 2000 litros de água.

A Coca-Cola estimou que a produção de uma lata de 300 ml do refrigerante exija até 60 l de água, representando quase 200 vezes o volume de uma simples lata.

A rede de cafeterias Starbucks anunciou que concluirá este ano a primeira estimativa do consumo de água de toda a empresa – desde as lojas e escritórios até aos seus fornecedores de café (Exame, 1999).

### **2.6.3 – Caso SABMiller**

A SABMiller é uma das maiores empresas de cerveja do mundo, com mais de 200 marcas de cerveja e cerca de 70000 funcionários em mais de 75 países. É ainda um dos maiores engarrafadores do mundo dos produtos Coca-Cola.

Para a SABMiller, as questões da disponibilidade e qualidade de água são cada vez mais relevantes porque a água não é apenas uma componente essencial da cerveja e dos refrigerantes, mas também é necessária para as culturas utilizadas no processo de produção. O objetivo da SABMiller é utilizar a água de uma forma cada vez mais sustentável estabelecendo, para isso, metas para reduzir o consumo de água por hectolitro de cerveja em 25% entre 2008 e 2015, e adotar a estratégia da água com base nos 5 R's (pRoteger, Reduzir, Reutilizar, Reciclar e Redistribuir). Como resultado, a

empresa já obteve uma diminuição de 8% por hectolitro de cerveja e o consumo médio de água por hectolitro de cerveja produzida em 2010 foi de 4,2 hectolitros, uma melhoria de 3% sobre os últimos 12 meses.

Tendo a percepção de que a escassez de água representa não só um risco potencialmente significativo para o negócio, mas também para algumas das comunidades em que operam, tem igualmente como objetivo trabalhar de forma colaborativa a fim de proteger as bacias hidrográficas que partilham com as comunidades e das quais ambos dependem.

Em 2010, a SABMiller utilizou 731 milhões de hectolitros de água nos seus processos de produção de cerveja, contrastando com os 762 milhões de hectolitros, em 2007 e verificando ainda assim um aumento nos volumes de produção.

Na África do Sul, a SABMiller está a trabalhar paralelamente com os produtores de cevada para que juntos possam melhorar a irrigação e a produtividade das culturas, não perdendo de vista os esforços realizados junto da WWF na proteção das bacias hidrográficas onde possui as suas operações.

De acordo com Andy Wales, chefe do departamento de sustentabilidade da SABMiller “ *determinar as pegadas hídricas permite à SABMiller identificar quais são os elos da cadeia de suprimento que poderão enfrentar escassez de água ou a baixa de qualidade de água no futuro. Permite-nos também planear e lidar com os desafios futuros*” (<http://www.wwf.org.br/>).

A SABMiller assumiu três compromissos essenciais relativamente ao uso de água no funcionamento das suas operações:

- a) reduzir a quantidade de água necessária na produção de uma unidade de cerveja;
- b) considerar as necessidades das comunidades próximas da fábrica, evitando possíveis conflitos sociais pelo uso de água;
- c) envolver os seus fornecedores em todo o processo para que disponham de melhor informação e conhecimento da pegada deixada nos recursos hídricos pela cadeia de fornecimento da empresa.

## 2.7 - Aplicações do conceito de Pegada Hídrica

A Pegada Hídrica é caracterizada como uma ferramenta no âmbito da gestão dos recursos hídricos, indicando o consumo de água doce e permitindo que as iniciativas públicas como as iniciativas privadas, assim como a sociedade, detenham uma percepção da quantidade necessária de água para a produção de produtos ao longo de um sistema produtivo. Desta forma, os diversos segmentos da sociedade podem quantificar a sua apropriação de recursos de água doce e contribuir através de medidas de redução e mecanismos de compensação nos conflitos de consumo de água e degradação ambiental nas bacias hidrográficas de todo o mundo.

Em Março de 2011, após uma iniciativa entre vários organismos ambientais e universitários, tendo como objetivo promover o conceito, bem como transmitir conhecimentos técnicos a representantes de instituições chave, de forma que implementem uma metodologia de gestão eficiente e sustentável da água, Hoekstra afirmou: *“Apesar de os governos terem papel fundamental na elaboração de leis que tornam a gestão eficiente da água uma obrigação, a população e as empresas também devem envolver-se completamente. As empresas precisam de compreender como utilizar os recursos hídricos da melhor forma e devolvê-los limpos para a natureza. Já os consumidores devem preocupar-se com a origem dos produtos que consomem e com os procedimentos adotados na sua produção.”*

A Water Footprint Network tem vindo a desenvolver metodologias para que a nível governamental, empresarial, comunitária e individual possam identificar as suas Pegadas Hídricas, com o objetivo de reduzir o consumo de água doce.

### 2.7.1 - Nível Governamental

A nível governamental, um estudo de Aldaya *et al*, em 2009, na região da mancha ocidental espanhola, descreve, entre outros assuntos, a importância da análise da água virtual e da Pegada Hídrica na formulação de políticas que visam uma correta gestão dos recursos hídricos.

Embora a região beneficiar de um excelente desenvolvimento social e económico, esta tem sido de uma inadequada gestão das águas subterrâneas. Isto deve-se ao fato dos agricultores, durante vários anos, perfurarem o solo dos seus terrenos para uso próprio de uma forma descontrolada, ou seja, sem qualquer tipo de limitação ou consentimento por parte das autoridades locais. Esta exploração desequilibrada esgotou o lençol freático a uma taxa constante de 1 m/ano, secando uma série de zonas húmidas, tal como Las Tablas de Daimiel National Park e pondo em risco todo um ecossistema dependente deste recurso. Além dos impactes ambientais causados, também se geraram conflitos sociais entre as autoridades, agricultores, políticos e organizações de defesa ambiental e que foram para lá de uma escala local, tendo inclusivamente colocado em causa o cumprimento dos objetivos da Diretiva Quadro da Água.

Nesta região espanhola, as videiras, as oliveiras, cereiais de regadio e tomates são as culturas mais predominantes. Aldaya *et al*, em 2009, utilizando a metodologia desenvolvida por Hoekstra *et al*, em 2008, concluíram que as videiras, os tomateiros e as oliveiras eram culturas economicamente produtivas em relação aos cereais de regadio. Todavia, os agricultores continuaram a semear as culturas de cereais. Concluiu-se que esse facto deve-se provavelmente à Política Agrícola Comum (PAC) da UE que subsidia os agricultores. Após a reforma desta política em 1992, os subsídios começaram a ser pagos por hectare, cujo valor dependia dos rendimentos médios da região. Como os cereais de regadio têm rendimentos superiores às mesmas culturas em regime de sequeiro, os agricultores com terras irrigadas receberam um preço mais elevado por hectare. Deste modo, as culturas de cereais são comuns por serem mais rentáveis, muito à base dos subsídios concedidos e por proporcionarem um lucro relativamente seguro.

Devido a casos como este, as políticas agrícolas sofreram alterações substanciais nos últimos anos, tanto a nível regional como a nível europeu. Estas mudanças destinaram-se a um consumo mais racional dos recursos hídricos. Para além das exigências da Diretiva Quadro da Água, as novas políticas na região apontam essencialmente para uma mudança nos padrões de cultivo e uma redução substancial da superfície irrigada.

Estes aspetos indiciam uma primeira conclusão em relação à Pegada Hídrica como uma ferramenta útil para os governos, informando quando se torna iminente a implementação ou reformulação de políticas de gestão da água. A Pegada Hídrica permite uma comparação entre os consumos existentes e os recursos disponíveis, proporcionando conhecimentos úteis em relação ao consumo eficaz ou ineficaz de água numa região.

Outra ferramenta que pode ter um papel fundamental é o lançamento por parte da Organização Internacional da Padronização (ISO) de uma norma sobre os princípios e diretrizes para a Pegada Hídrica de produtos, processos e organizações. Esta norma deverá ser internacionalmente reconhecida e deverá colmatar as necessidades de governadores locais, nacionais e regionais, ONGs e entidades comerciais semelhantes. Para tal, a norma ISO 14046 está a ser discutida internacionalmente e pretende ser consistente e coerente com a ISO 14000 e com medidas ambientais, como a pegada de carbono, LCA (ISO14040 e ISO14044), a contabilidade de GEE (ISO 14064-1, -2, -3 e ISO 14067-1), e com a comunicação ambiental (ISO 14020, ISO 14067-2).

Ainda não existe informação muito rigorosa sobre a norma ISO 14046 dado que ainda está em fase de elaboração.

Ao longo dos próximos anos, a Alliance for Water Stewardship (AWS) vai trabalhar com autoridades dos recursos hídricos, empresas, comunidades locais e ambientalistas no estabelecimento de um programa de certificação voluntária para os gestores e usuários de água com base em padrões internacionais desenvolvidos através de uma solução equitativa, transparente, com base científica e num processo *multi-stakeholder*, com constante verificação do cumprimento das normas (<http://www.allianceforwaterstewardship.org/>). Quando em funcionamento, o programa da AWS vai permitir um novo e poderoso incentivo objetivando uma melhoria na forma como a água é gerida à volta do mundo. Em suma, o programa internacional de uso eficiente de água tem como metas:

- estabelecer um programa de certificação pelo uso responsável da água a nível global.

- adaptação da certificação às especificidades regionais e locais através de interações com os atores-chave que representam estes níveis.
- adaptação da certificação a setores, produtos, tipos de instituição, entre outros.

### 2.7.2 - Nível Empresarial

A água é um *input* fundamental para a maioria das cadeias produtivas como também o meio de diluição dos efluentes do setor industrial após o seu tratamento.

A Pegada Hídrica pode ser incorporada na estratégia de sustentabilidade e responsabilidade social das diversas empresas para além de servir como ferramenta de preponderância em políticas públicas e de promover clareza nas cadeias produtivas. Ao considerarem a redução da Pegada Hídrica, as organizações diminuem o risco de enfrentar escassez de água nas suas operações, riscos de regulamentação por interferência do governo, obtêm melhorias na sua reputação junto da sociedade, reduzem os custos operacionais, criando oportunidades de mercado, principalmente na cadeia de fornecedores.

Dos meios possíveis para alcançar o uso eficiente, sustentável e equitativo da água, o primeiro passo será utilizar a metodologia de avaliação da Pegada Hídrica e reportá-la em relatórios anuais de sustentabilidade. Provavelmente, poderia surgir certificações e produtos no mercado com selos indicando a sua Pegada Hídrica, à imagem do que já acontece com a Pegada de Carbono. Posteriormente, a partir de grupos empresariais de *benchmark*, poderiam ser estabelecidas diretrizes, metas e objetivos de redução da Pegada Hídrica.

Foi realizado um questionário com várias empresas, entre as quais, as multinacionais como Coca-Cola, Unilever, Shell. Os gerentes das empresas entrevistadas afirmaram que a economia de água será prioridade num futuro muito próximo, e 52% já consideram que o consumo de água já é um dos 5 maiores problemas que lidam presentemente. De acordo com o estudo, a maioria das companhias que já iniciou a redução do consumo de água, teve uma grande taxa de

retorno, o que manifesta que o investimento em medidas para diminuir o consumo de água reflete numa grande economia para a empresa (pelanatureza.pt, 2010).

A Unilever, dona de mais de 400 marcas em todo o mundo, calcula que economizou 26 milhões de dólares através da redução do desperdício da água nas suas indústrias, no período entre 2001 a 2007. Recentemente, a empresa começou a reduzir a água utilizada no cultivo de matéria-prima destinada à produção do chá Lipton e do molho de tomate Ragu, com um sistema de irrigação gota-a-gota nas suas plantações de chá preto na Tanzânia e de tomate nos EUA. Esse esforço poderá ter um impacto importante na Pegada Hídrica mundial dado que a Unilever compra 7% dos tomates do mundo e 12% da oferta mundial de chá preto (Unilever, 2010).

Empresas como a IBM (*International Business Machines*), admitiram estar atentas a esta nova tendência e caso se mantenha, irão apostar na criação de *software* e *hardware* para auxiliar a economia de água.

Até há pouco tempo, a primeira dificuldade no cálculo da Pegada Hídrica das empresas era o fato de não existir metodologias disponíveis a ser seguidas, ao contrário do cálculo das emissões de carbono. Assim, diante desta lacuna, em Dezembro de 2008, uma rede mundial de ONGs, cientistas e cerca de 10 empresas criaram a Water Footprint Network (WFN) para discutir pela primeira vez uma metodologia única para a avaliação da água virtual, auxiliando as empresas e governos a medir e administrar o seu consumo de água. Em Março de 2009, a WFN concluiu e publicou o Manual Técnico da Pegada Hídrica, que contém normas globais, existindo uma publicação mais recente, lançada em 2011. Esta criação de normas e padrões globais foi um grande passo para comparar produtos e empresas e para fazer com que este conceito faça cada vez mais parte dos critérios de sustentabilidade do mundo empresarial.

### **2.7.3 – A nível social**

A sociedade, caracterizada pelo seu impulso consumidor, tem um enorme poder de transformação no que diz respeito à gestão e regulamentação dos recursos hídricos.

Existem dois métodos que a sociedade pode escolher, objetivando a sustentabilidade deste recurso: o primeiro método passa pela mudança nos hábitos de consumo, substituindo alimentos com um consumo intensivo de água por outros com um consumo menos intensivo. O segundo método é optar por produtos originários de zonas com relativa abundância de água e geridas de forma sustentável. Em ambos os casos, os consumidores necessitam de uma ampla informação para poderem comparar produtos e escolherem pelo que representa menores riscos ambientais. Estas informações, por exemplo, podem ser fornecidas no rótulo ou podem ser disponibilizadas na Internet. Para os consumidores, seria útil acrescentar um selo de água nos rótulos dos produtos ao lado de outros itens, como a Pegada de Carbono e o comércio justo.

A Pegada de Carbono, a Pegada Hídrica como a Pegada Ecológica foram elaboradas para alertar as organizações e a população e provocar uma reflexão sobre a forma de utilização dos recursos naturais. No site oficial da Pegada Hídrica existem duas calculadoras, uma mais geral e outra mais rigorosa que contempla um maior número de parâmetros, que permitem calcular a Pegada Hídrica de cada indivíduo ([www.waterfootprint.org](http://www.waterfootprint.org)).

Outra ferramenta que pode ajudar o consumidor na hora de comprar qualquer produto é uma aplicação atualmente disponível para o *iPhone*, demonstrando a importância que este conceito tem vindo a tomar na sociedade de hoje. Esta aplicação consiste na ilustração da pegada hídrica através de valores baseados nas metodologias desenvolvidas por Hoekstra *et al*, de uma vasta gama de produtos, permitindo comparar produtos e realizar uma compra ambientalmente mais consciente por parte do consumidor. Esta aplicação pode ser utilizada em qualquer país e incorpora sistema de unidades europeu e americano ([virtualwater.eu](http://virtualwater.eu)).

## **2.8 – Outras metodologias de quantificação do consumo de água.**

Embora, atualmente, a Pegada Hídrica seja a metodologia de quantificação do consumo de água com maior popularidade no seio da comunidade científica e

empresarial, ao longo dos últimos anos foram propostas várias metodologias alternativas.

Em 2001, a OECD (Organization for Economic Co-Operation and Development) publicou um estudo sobre indicadores ambientais chave, onde se pretendia reduzir o número desses indicadores e direcionar atenções para os aspetos ambientais de maior interesse (OECD, 2001). Um desses indicadores ambientais chave estava relacionado com a água doce e foi dividido em duas categorias: qualidade de água doce e recursos de água doce. Neste estudo foi ainda desenvolvida uma metodologia de quantificação da água que inclui extrações totais de água e o tratamento de águas residuais. Ao contrário da metodologia da Pegada Hídrica, este método exclui o consumo de água da chuva e a quantidade de água necessária para a diluição dos poluentes. O conceito de consumo de água para este método é diferente do conceito da Pegada Hídrica.

Gerbens-Leenes *et al*, desenvolveram em 2003, uma metodologia que considera três indicadores que abordam problemas ambientais à escala global: consumo da água, consumo do solo e consumo de energia. Ao contrário do método da OECD (2001), este método pretende partilhar a responsabilidade dos impactes ambientais com a cadeia de abastecimento. Assim, no caso do consumo de água, este foi dividido em duas partes: consumo de água doce direto, por ano (consumo de água doce operacional) e consumo de água indireto (consumo de água doce na cadeia de abastecimento da empresa). Para o cálculo do consumo de água, o método não inclui o volume de água verde, nem o volume de água poluída que é descarregada no meio recetor. Tal como o método anterior, este método considera como consumo de água, a água que é retirada de fontes subterrâneas ou superficiais.

O World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), lançou a Global Water Tool, uma ferramenta grátis e de fácil utilização para empresas e organizações que queiram mapear os seus consumos de água e avaliar os riscos relativos às suas operações e cadeias de abastecimento (WBCSD, 2007). É uma ferramenta que quantifica a água retirada a partir de fontes de água doce (água subterrâneas/superficiais e água da chuva) e salgada ( $m^3$ /ano), e a descarga de água doce e salgada para os meios recetores ( $m^3$ /ano). O método de cálculo subtrai as

quantidades de água de descarga às quantidades de água consumida. Este método não se encontra em linha com os métodos da OECD (2001) e de Gerbens-Leenes *et al* (2003), nem com o conceito da Pegada Hídrica, uma vez que também inclui a água salgada na quantificação do consumo de água. A água salgada é excluída das restantes metodologias pelo fato de não ser considerada um recurso escasso.

## Capítulo 3 – Caso de estudo: Cálculo da Pegada Hídrica do tijolo cerâmico.

O presente caso de estudo centra-se na determinação da Pegada Hídrica do tijolo cerâmico e contribuição para a criação de uma base de dados dos materiais de construção.

O tijolo cerâmico é um dos materiais de construção mais utilizados, aplicado em edificações, tais como, residências e instalações industriais. A indústria da construção civil, onde se inclui a produção de materiais de construção como o tijolo cerâmico, é responsável por grande parte dos impactes sobre o meio ambiente, sendo uma grande consumidora de recursos naturais, como a água e a energia, libertando grandes quantidades de resíduos sólidos e líquidos que vão ser depositados diretamente, no ar, água ou solo.

O grande desafio para todos que se encontram envolvidos com o setor da construção civil é a implementação do uso mais sustentável e equitativo da água, por parte das empresas e dos cidadãos envolvidos neste setor.

Um dos indicadores ambientais que mais vem sendo discutido mundialmente envolve o conceito da Pegada Hídrica. A água é usada, em quase todos os serviços de engenharia, às vezes como componente e outras como ferramenta. O cálculo da Pegada Hídrica pode ajudar a controlar melhor o consumo e fazer análises sociais, económicas e ambientais de qualquer indústria.

O presente estudo, para além de determinar a Pegada Hídrica do tijolo cerâmico, quer contribuir, para a criação de uma base de dados com as Pegadas Hídricas dos materiais de construção, de forma a conhecer qual o real consumo destes elementos na construção civil.

## 3.1- Setor da cerâmica

### 3.1.1 – Breve História

A indústria da cerâmica é uma das mais antigas do mundo. Os materiais cerâmicos foram utilizados pela humanidade desde os mais longínquos tempos da sua existência, contribuindo, certamente, para isso a existência abundante de matéria-prima e a sua facilidade de produção. Os produtos cerâmicos tornaram-se essenciais na história da humanidade.

De acordo com Pereira (2005), *“a origem etimológica da palavra cerâmica tem origem na língua grega”*, sendo que, segundo Vasconcellos (1907), a palavra cerâmica tem a sua génese em *“Céramus que segundo a mitologia grega era filho de deus Baco e de Ariana, e era o protetor dos oleiros, havendo em Atenas um bairro denominado Cerâmica.”*

No entanto, segundo a Associação Portuguesa de Indústria Cerâmica (APICER), a palavra “cerâmica” deriva do termo grego “Keramike”, derivação “Keramos”, e que significa argila. Para esta associação de profissionais, a cerâmica destina-se *“à elaboração de toda a espécie de objetos, com barros de qualquer classe, decorados ou não, utilizando-se a propriedade que possui a argila de se moldar facilmente no estado de barro cru (húmido), adquirindo dureza à medida que avança a sua secagem ou por efeito de cozedura”* (www.apicer.pt, 2012).

A existência da Cerâmica remonta praticamente à do próprio Homem, passando pelos tijolos da Babilónia (1900 a. C.), onde o emprego dos produtos cerâmicos se iniciou nos locais onde as pedras eram escassas e era abundante a presença de materiais argilosos. A Bíblia aponta para o uso de tijolos na construção da Torre de Babel (Génesis 11, 3), além das cidades de Pitom e Ramsés.

Foi no período neolítico, fase do desenvolvimento técnico das sociedades humanas a que corresponde o seu acesso a uma economia produtiva, que a cerâmica foi inventada. Este período, caracterizado pelo desenvolvimento de novas técnicas, tem, no entanto, como fator de primordial importância o estabelecimento de novas

relações entre o homem e o meio natural, decorrentes da descoberta de meios para controlar e desenvolver os recursos para a sua sedentarização: o fabrico da cerâmica terá sido um dos mais importantes (www.apicer.pt, 2012).

Contudo, a consideração que a cerâmica era característica deste período é discutível. O reconhecimento de um Neolítico pré-cerâmico no Próximo Oriente (Jericó) e as descobertas de vasos cerâmicos, em grupos nómadas, datados de 6000 a.C., no Japão, obriga a considerar a existência de duas fases:

- 1 - a pré-cerâmica, entre o fim do VIII milénio A.C. e o princípio do VI;
- 2 - e a cerâmica, a seguir a esta data e que se prolongou até a idade do Bronze.

Já muitos anos mais tarde, o tijolo ficou um pouco esquecido pelos egípcios, que davam preferência à utilização da pedra. Um dos exemplos é as pirâmides egípcias, monumentos construídos de pedra. Em seguida, os árabes voltaram a utilizar o tijolo.

Era no Sudeste da Ásia (Irão, Palestina e Sul da Turquia) que se dava espontaneamente o trigo e a cevada, bem como existia o gado bovino e caprino, no estado selvagem, que permitiram a revolução acima referenciada (passagem a uma economia de produção). Não é, pois, de estranhar que o desenvolvimento inicial da cerâmica se tenha dado no Próximo Oriente, visto ter sido aí que se verificou a necessidade de armazenar os alimentos recolhidos da agricultura, de casas para abrigar uma população crescente, de símbolos que satisfizessem as necessidades espirituais e fornos que transformassem a farinha de trigo em pão. Tudo isto terá levado à construção de vasos, tijolos, estatuetas e elementos decorativos de argila.

No século VII, os chineses começaram a produzir a porcelana, enquanto que no resto do mundo só se fabricava a cerâmica vermelha e amarela.

No século XVII, um grande incêndio na cidade de Londres destruiu muitas casas de madeira e despertou os ingleses para a utilização de tijolos na reconstrução da cidade.

No século XVIII surgiu em Inglaterra a louça branca. Em seguida, houve grande desenvolvimento dessa indústria. Surgiram tipos especiais de fornos e o processo produtivo começou a ser mais sofisticado. Veio a moldagem a seco e as porcelanas de alta resistência (www.apicer.pt, 2012).

Atualmente, em várias partes do mundo, o mercado produtor de blocos cerâmicos é um dos maiores mercados dentro do sector da construção civil, garantindo matéria-prima suficiente para a construção de edificações com as mais variadas finalidades.

Quanto a Portugal há que referir que houve um primeiro período em que se manifestaram as influências Europeia e Mediterrânea para o aparecimento e desenvolvimento desta arte, através dos “invasores” no primeiro caso e dos “mercadores” no segundo.

Os revestimentos cerâmicos que se desenvolveram em Portugal, como uma das mais antigas tradições, foram os revestimentos de paredes interiores, complementados pelas fachadas exteriores e influenciando a arquitetura portuguesa, civil e religiosa. Também o aparecimento de um tipo específico de cerâmica proveniente de uma cultura situada no Vale do Tejo, veio a posteriormente espalhar-se por toda a Europa: a cerâmica campaniforme.

À existência de uma cerâmica típica (cerâmica ibérica), ao tempo da chegada dos Romanos, mistura-se a influência destes e, mais tarde, a dos Árabes, para o futuro desenvolvimento da olaria. Não é alheia, a esta interferência, a presença de vários tipos regionais de cerâmica durante a Idade Média, alguns dos quais perduram até ao presente. O grande desenvolvimento verificado nos séculos XVII e XVIII, especialmente neste último, devido a existência de ceramistas de vulto como Brioso e Vandelli, bem como a fundação de Fábrica do Rato, esteve na base do aparecimento de outras fábricas importantes por todo o território. Estes acontecimentos desenvolveram a criação de indústrias cerâmicas em Portugal, que, segundo (Feio, 1998) *“(...) são conhecidos registos das primeiras fábricas que se desenvolveram a partir da segunda metade do século XVIII”*.

O desenvolvimento da indústria cerâmica portuguesa, no século XX, divide-se em duas fases importantes: a primeira até Abril de 1974 e a segunda após 1983 com a chegada de fundos comunitários resultantes da pré-adesão à então Comunidade Económica Europeia (CEE) (Pereira, 2005). A primeira etapa de desenvolvimento caracterizou-se, segundo esta autora, pelo aparecimento de um conjunto de médias e grandes empresas organizadas em comunidades praticamente independentes, desde a revolução industrial (ocorrida no século XIX), detentoras de todo um processo produtivo, desde a exploração de matérias-primas até à colocação no mercado. Funcionavam, estas empresas, como polos escolares e centros de futuros empreendedores do sector. Coexistiam pequenas organizações artesanais, muitas vezes nucleares para o aparecimento e crescimento de produtos cerâmicos de base regional, alguns dos quais vieram a originar algumas das atuais empresas de sucesso.

Para Feio (1996) os anos 1980s *“são marcados por uma trajetória irregular, mas grosso modo acompanham as tendências gerais da economia nacional: a primeira metade são bem visíveis ainda os sintomas de crise, enquanto a segunda reflete já a expansão geral verificada”*.

Com a adesão de Portugal à CEE em 1986, e pelas consequências que esta trouxe, ao nível do crescimento da modernização industrial e da eliminação de desvantagens competitivas, a segunda fase caracterizou-se essencialmente por fortes aumentos de produtividade e da qualidade dos produtos e dos sistemas. Segundo Correia (2000), esta nova fase possibilitou que a cerâmica crescesse acima da maioria dos sectores industriais *“alcançando uma posição de destaque no quadro europeu dos fabricantes de materiais cerâmicos, no final do século XX”*.

### **3.1.2 – Tijolo**

Os tijolos são um material de construção conhecido e utilizado há milhares de anos. Nos dias de hoje, os tijolos são amplamente utilizados a nível global nas construções, em particular, em países de economia emergente, sendo por isso produzidos em grandes quantidades segundo processos de produção em massa orientados para otimizar a economia e a qualidade.

É necessário então questionar o modo como são elaborados e perceber detalhadamente os efeitos ambientais da sua produção. A indústria de produção de tijolos requer grandes quantidades de recursos para os seus *inputs* e causa vários efeitos negativos no ambiente (Kooimey *et al*, 1998).

Um tijolo de argila, seja de que tipo for, na sua generalidade não é mais do que uma mistura de argila com água moldada na forma desejada, sujeita a um processo de secagem e que posteriormente é levada ao forno para cozer por um tempo considerável, que pode ser de um a vários dias, dependendo do processo de fabrico e do tipo de forno.

### **3.1.3 – Tijolo em Portugal**

A indústria cerâmica é um setor tradicional que contribui significativamente para a economia nacional, sendo que a tipologia de produtos é adaptada às exigências particulares de cada uma das regiões. O tijolo é o produto cerâmico básico mais utilizado na construção de alvenaria (Almeida & Dias, 2010).

Nos últimos anos, a cerâmica estrutural tem sofrido as consequências decorrentes da crise sentida no setor da construção civil e das alterações significativas da conjuntura económica do país. Os reflexos induzidos pela crise económica têm conduzido ao encerramento de algumas unidades fabris, em algumas situações envolvendo a venda do equipamento para unidades de produção que estão a ser montadas noutros países, nomeadamente em Angola. O aumento de custos com a energia e a mão-de-obra são os principais fatores que estão na origem da deslocalização para outros países.

#### **3.1.3.1 – Capacidade produtiva e instalada em 2008**

Em 2008, em Portugal, a produção anual de tijolos foi de 3 410 000 toneladas que representa um pouco mais de metade da capacidade instalada em território nacional, cujo valor se situa em 6 697 000 toneladas, segundo o Centro Tecnológico de Cerâmica e Vidro e a APICER, que contou com dados de empresas que representavam 85 % da produção nacional de tijolos em Portugal, no ano de 2008.

Relativamente à localização, as empresas do subsetor da cerâmica estrutural situam-se, na sua maioria, no litoral norte e centro do país. Esta localização preferencial está relacionada com as zonas de exploração das matérias-primas utilizadas. A distribuição da capacidade produtiva instalada e os valores da produção efetiva em 2008 da indústria de cerâmica estrutural são apresentados na Figura 7 (APICER & CTCV, 2009).

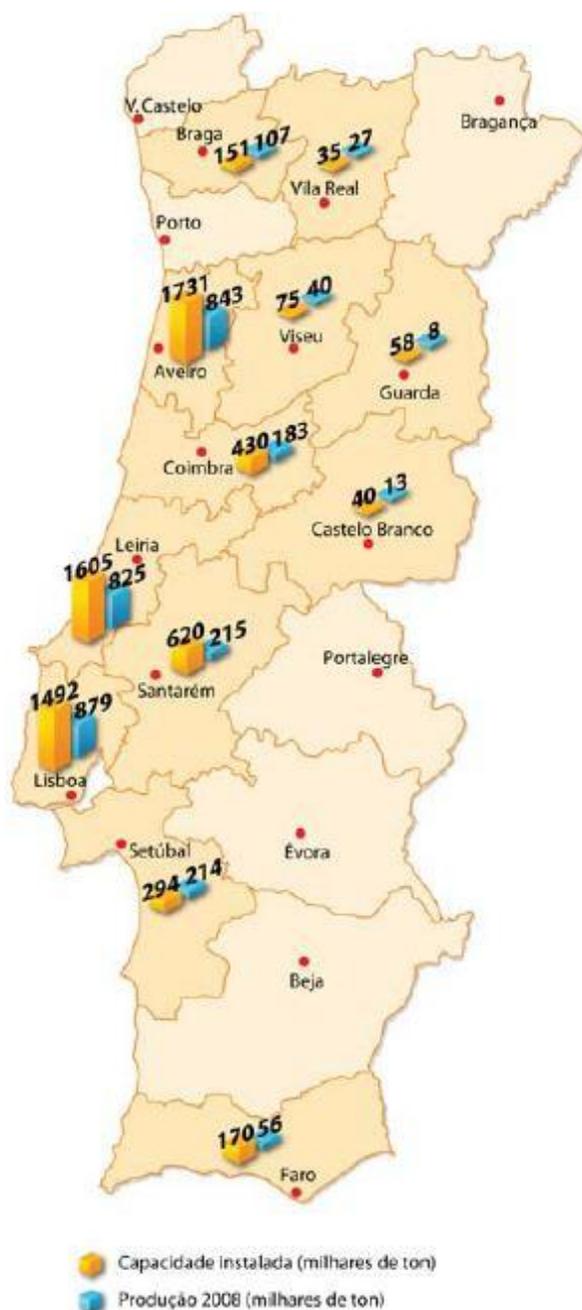


Figura 7 - Capacidade instalada das empresas por distrito e valores de produção de 2008 (APICER & CTCV, 2009).

Os distritos com empresas de maior capacidade instalada são Aveiro, Leiria e Lisboa, como se mostra no gráfico 1.



Gráfico 1- Percentagem de capacidade instalada por distrito (APICER & CTCV, 2009).

### 3.1.3.2 - Dimensão das empresas

No Gráfico 2 compara-se o número de empresas existentes com a sua capacidade produtiva, nos anos de 2004 e 2008.

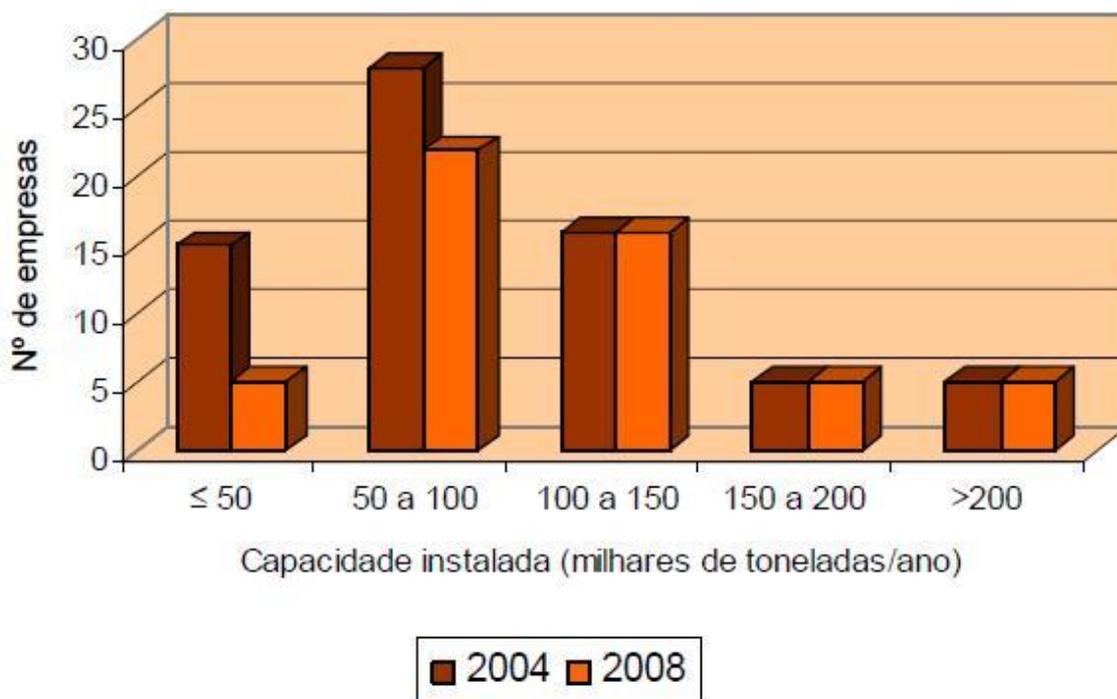


Gráfico 2 - Frequência de empresas por classes de capacidade produtiva instalada (APICER & CTCV, 2009).

As empresas de tijolo, telha e abobadilha empregaram, em 2008, cerca de 2500 colaboradores diretos. O gráfico 3 apresenta a dimensão do tecido empresarial típico do setor, por frequência do número de colaboradores por empresa.

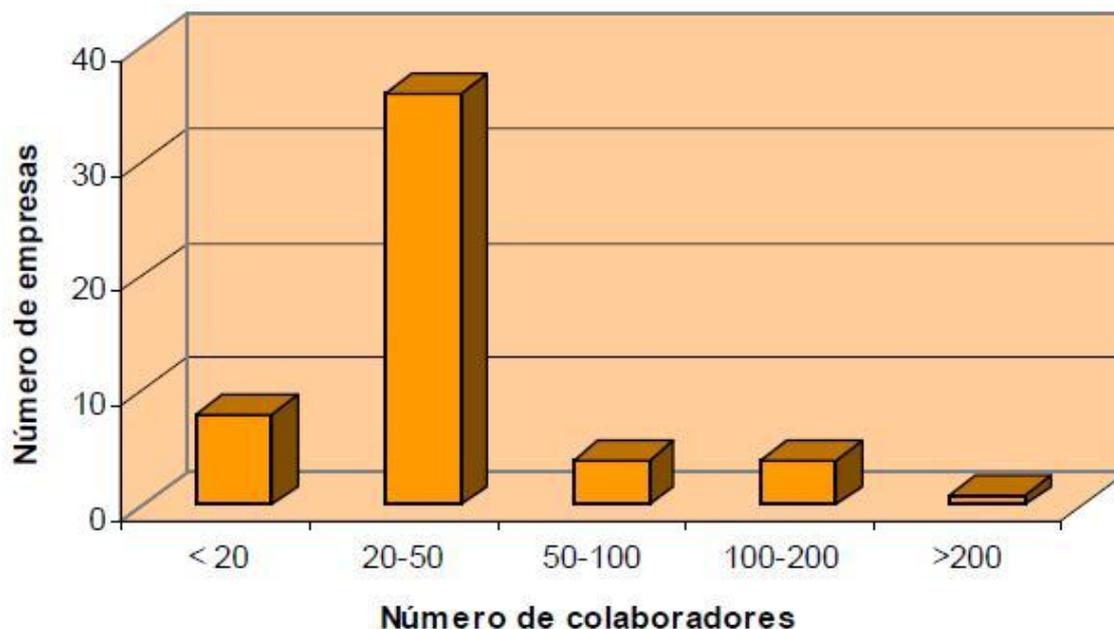


Gráfico 3 – Número de empresas classificadas por número de colaboradores (APICER & CTCV, 2009).

### 3.1.4 - Processo de fabrico do tijolo

A matéria-prima nuclear desta indústria é a argila. Sendo um minério, é obtido através de minas escavadas na crosta terrestre a céu aberto, tradicionalmente chamadas de barreiros. Depois de extraída e transportada para a fábrica, a argila deve passar por uma fase de apodrecimento, que consiste no repouso a céu aberto do material com a finalidade principal de promover a fermentação das partículas orgânicas, aumentando a plasticidade. O apodrecimento também serve para diminuir as pressões sobre as argilas. Em seguida, o tratamento da matéria-prima envolve as seguintes fases:

- destorroador, que consiste na eliminação de impurezas que possam prejudicar o material, como grãos duros, raízes, pedras;
- doseador, que consiste em reduzir a argila a pequenos fragmentos;
- homogeneizar, que envolve a mistura mais homogênea possível entre desengordurante e as argilas;
- desagregadores, que consiste em quebrar os torrões duros;

- laminador, consiste em moer materiais maiores que eventualmente estejam presentes na argila;
- amassar, que consiste em adicionar água à matéria-prima com o objetivo de facilitar o procedimento seguinte, a moldagem.

Deve-se tomar cuidado com a quantidade de água a incorporar, uma vez que, uma maior quantidade maior de água facilita a moldagem mas dificulta o processo de secagem, além de representar um aumento de custo durante o processo de queima.

De seguida é deixada em repouso de modo a que a humidade se homogeneize.

A fase de preparação e moldagem das peças depende basicamente da quantidade de água que está presente na mistura. Verçosa, (1994) apresenta uma classificação para o processo de moldagem com o teor de humidade:

- a) moldagem a seco ou semi-seco (com 4 a 10% de água);
- b) moldagem com pasta plástica consistente (com 20 a 35% de água);
- c) moldagem com pasta plástica mole (com 25 a 40% de água);
- d) moldagem com pasta fluída (com 40 a 50% de água).

O tipo de processo mais empregado para a moldagem dos blocos, é a moldagem com pasta plástica consistente. Transporta-se a argila com uma pá carregadora para um doseador, repetindo novamente o processo de reduzir as partículas ao máximo a pequenos fragmentos. Com o auxílio de água e vapor de água, é feita a extrusão da argila através de um molde acoplado à boca da fieira. Procede-se ao corte da argila, sendo o corte feito por uma guilhotina formada de arames presos a um esquadro de madeira ou metal, de modo a obter tijolos com as dimensões pretendidas. Os tijolos são de seguida agrupados e carregados por um equipamento de elevação e deposição mecânicas nas sucessivas prateleiras de uma estante de secagem.

A fase da secagem das peças é tão importante como a queima, porque ainda permanecem 5 a 30% de água. Grande parte desta humidade é removida durante a secagem e o resto durante a queima. Durante a secagem evapora a água livre, permanecendo no material uma humidade de equilíbrio. O mecanismo total da secagem consiste na evaporação da humidade das zonas internas de maior concentração para as externas de menor concentração. Estes dois fenómenos, a evaporação superficial e a difusão interna através da peça, devem realizar-se,

simultaneamente e com a mesma velocidade, até que se interrompa a secagem ou até o final da mesma.

A secagem é realizada basicamente de quatro formas:

- secagem natural: é o processo mais utilizado na maioria as olarias produtoras de blocos. É realizada em locais ao abrigo do sol e sem paredes laterais, permitindo intensa circulação do ar. Geralmente é demorada e exige grandes áreas;
- secagem por ar quente-húmido: o material é colocado em secadores onde recebe ar quente com alto teor de humidade, até que desapareça a água absorvida. Em seguida, recebe só ar quente para perder a água de capilaridade. Isso reduz o aparecimento de deformações;
- secadores semi-contínuos em túnel: são túneis pelos quais se faz passar o calor residual dos fornos (de 40 a 150 °C). As peças são colocadas em pequenos vagões que percorrem o túnel lentamente, indo da menor para a maior temperatura;
- secagem por radiação infravermelha: é pouca usada, devido ao custo e por só servir para peças delgadas. No entanto, dá alto rendimento e pouca deformação, sendo somente usada para peças de precisão.

As peças, durante a secagem, devem ser empilhadas de modo que ofereçam a todas as faces um contato com o ar, não devendo ser colocados em prateleiras de materiais absorventes, pois a diferente retração das faces originará distorções.

Posteriormente, os tijolos secos são descarregados das estantes à saída do secador e dispostos em vagões que os vão transportar durante o período de cozedura num forno.

A queima é provavelmente a parte mais importante na fabricação do tijolo. Durante o cozimento ocorrem reações químicas diversas: algumas mais rápidas e outras mais lentas, algumas que devem completar-se e outras que devem ser evitadas, algumas que devem ocorrer no início e outras, no final do processo.

Um dos principais cuidados que devem ser tomados durante a fase de queima é o de se dar uniformidade ao calor do forno para evitar que umas peças fiquem mais queimadas do que as outras; deve-se também procurar atingir as temperaturas ideais.

A queima é realizada nos fornos, que podem ser de dois tipos: intermitentes, que podem ser de calor ascendente ou descendente, ou contínuos, que podem ter a carga ou zona de fogo móvel.

Os fornos intermitentes são mais “simples” e geralmente utilizados em olarias menores. O calor é gerado fora dos fornos e circula pelo interior através das pilhas de tijolos até a chaminé. Pode ocorrer que algumas peças não sejam cozidas uniformemente, havendo a necessidade de descartá-las no final do processo. Os fornos contínuos, bem mais avançados que os intermitentes, são formados por uma série de câmaras de modo que quando uma está em fogo, o ar aquecido atravessa todas as demais antes de sair pela chaminé. A produção é contínua, sem necessidade de paragem para carga ou descarga dos produtos. Os principais tipos de forno contínuos são:

- forno Hoffmann: é obtido pela ligação de diversos fornos intermitentes. Utiliza 50% a menos de combustível em relação aos fornos intermitentes, uma vez que usa o ar quente das câmaras em fogo para fazer o pré-aquecimento das câmaras seguintes. Pode ter a forma circular, oblonga ou retangular. O combustível usual é a lenha, mas também pode ser utilizado carvão em pó.
- forno Túnel: é o melhor forno, se comparado com qualquer um dos anteriores. É um túnel longo que tem na sua porção central a câmara de queima. O material é introduzido sobre vagões móveis, passa por um pré-aquecimento e sai na outra extremidade já na temperatura adequada. O combustível usual é óleo, mas o forno pode ser projetado para lenha, carvão, gás e eletricidade, entre outros. O grande inconveniente do forno tipo túnel é o seu alto custo inicial e a necessidade de que sejam feitas adaptações na velocidade e na chama cada vez que se deseja mudar o material a ser cozido.

No fim, após um resfriamento, os tijolos são descarregados dos vagões, embalados por cintagem com fita de polipropileno e colocados sobre paletes de madeira, por meio de um equipamento automático de descarga, cintagem e paletização. As paletes são retiradas do tapete de descarga por meio de um empilhador que as transporta e deposita no parque de armazenamento e expedição.

## 3.2 – Metodologia para o cálculo da Pegada Hídrica do tijolo cerâmico

O conceito de Pegada Hídrica desenvolveu-se a partir da constatação de que as atividades humanas consomem e poluem grandes quantidades de água que não são contabilizados na elaboração de planos de gestão dos recursos hídricos. O consumo e a poluição desses recursos para manter as atividades humanas geram impactos sobre a sua disponibilidade.

A Pegada Hídrica considera o uso direto e o uso indireto dos recursos hídricos envolvidos em processos, na produção de produtos ou mesmo numa área geográfica. O cálculo da Pegada Hídrica envolve três componentes: Pegada Hídrica azul, Pegada Hídrica verde e a Pegada Hídrica cinzenta.

### 3.2.1 – As etapas da Pegada Hídrica

A avaliação da pegada Hídrica é realizada de maneira a auxiliar na compreensão do consumo de água e seus impactos, assim como favorecer a tomada de decisão por parte de gestores de recursos hídricos. As quatro fases envolvidas no processo são:

- 1) definição de objetivos e Âmbito do estudo;
- 2) o cálculo da Pegada Hídrica;
- 3) avaliação da Sustentabilidade da Pegada;
- 4) formulação de respostas;

A definição do objetivo é importante para saber até a onde se pretende ir, quais as atividades serão avaliadas. O objetivo, por exemplo, pode interessar a uma empresa que queira os principais fontes de consumo de água ou simplesmente conhecer a água consumida nas suas próprias operações e/ou na sua cadeia de abastecimento; um gestor de uma bacia hidrográfica pode estar interessado em saber se a Pegada Hídrica agregada, das atividades humanas no interior da bacia viola os requisitos ambientais ou os padrões de qualidade da água.

A definição do âmbito depende do objetivo definido. É no âmbito que é definido os processos, recursos, dados de entrada, tipos de água, entre outros aspetos

que possam contribuir para a quantificação da Pegada Hídrica pretendida e uma boa compreensão do estudo.

O cálculo da Pegada Hídrica depende da recolha de dados, e o grau de dificuldade em obtê-los depende dos objetivos e do âmbito estabelecidos.

A fase de análise da sustentabilidade, os valores da Pegada Hídrica é analisada de uma perspetiva ambiental, social e económica. Além disso, a sustentabilidade pode ser considerada a diferentes escalas, nomeadamente ao nível local, ao nível da bacia hidrográfica ou a um nível mais global. Em cada uma das escalas podem se colocar questões críticas (Tabela 2). A sustentabilidade da Pegada Hídrica depende de vários fatores, ente os quais estão incluídas as características da Pegada Hídrica calculada na fase anterior e as condições do local, bem como do contexto mais amplo onde ocorre o consumo de água.

Na fase final, são definidas respostas e estratégias que apontem à diminuição das pegadas encontradas.

Uma avaliação completa da Pegada Hídrica é facultativa, isto é, não é necessário incluir todas as fases num só estudo. Na prática, o modelo das 4 fases subsequentes é mais uma linha de orientação ideal do que uma diretiva estrita.

Tabela 2 – Questões críticas que devem ser colocadas, aquando da avaliação da sustentabilidade da Pegada Hídrica.

	Perspetiva Ambiental	Perspetiva Social	Perspetiva Económica
Microescala: Local	A Pegada Hídrica verde favorece a produção ao custo da vegetação natural e da biodiversidade? A Pegada Hídrica azul viola os requisitos ambientais? A Pegada Hídrica cinzenta viola os padrões de qualidade da água local?	A Pegada Hídrica priva outros utilizadores de água?	A água pode ser poupada sem reduzir a produção?
Meso escala: Bacia hidrográfica	As Pegadas Hídricas azul e verde conduzem a uma mudança nos padrões de escoamento e portanto, afeta os requisitos	As Pegadas Hídricas azul, verde ou cinzenta afetam os utilizadores a jusante sem	Existem efeitos externos que não foram compensados aos utilizadores a

	ambientais dos caudais a jusante? A Pegada Hídrica cinzenta contribui para a violação dos padrões de qualidade de água a jusante?	indenização adequada ou repartição de benefícios?	jusante? A alocação de água é ideal, no tempo e no espaço, pelos diferentes utilizadores?
Macro escala: Além da bacia hidrográfica, global	A Pegada Hídrica pode para um determinado uso ser sustentável, dado o contexto mais amplo da disponibilidade limitada de água doce no mundo?	Há justiça na Pegada Hídrica para o uso feito, dado o contexto, mais amplo, da disponibilidade limitada de água doce no mundo?	Os padrões de produção regional e de comércio de produtos de uso intensivo de água são ótimos (eficientes), dado o contexto da disponibilidade limitada de água doce e a sua irregular distribuição em todo o mundo? Os produtos de uso intensivo de água exportados a partir de regiões com escassez de água são de baixo custo?

### 3.2.2 – Cálculo Pegada Hídrica Azul

A Pegada Hídrica Azul é calculada como o volume de água de superfície e subterrânea consumida para a produção de um bem ou serviço. O consumo se refere ao volume de água doce usada e então evaporada ou incorporada num produto. A “Pegada Hídrica Azul” também inclui as águas de superfície ou subterrâneas captadas numa bacia e devolvidas em outra bacia ou no mar. Refere-se à quantidade de água de superfície ou subterrânea que não retorna à bacia hidrográfica da qual foi retirada.

Conforme atrás referido, a Pegada Hídrica Azul é medida de acordo com a equação 1:

$$WF_{\text{proc.azul}} = \text{água azul incorporada} + \text{água azul evaporada} + \text{perda no fluxo de retorno} \quad [1]$$

A última parcela da equação 1 refere-se à parte do fluxo de retorno de água que não fica disponível para reutilizar na mesma bacia hidrográfica, num mesmo período de tempo, quer porque regressou a outra bacia hidrográfica (ou foi descarregado ao mar), ou porque regressou num outro período de tempo.

A Pegada Hídrica Azul é expressa em volume de água por unidade de tempo ou em volume de água por unidade de produto.

### **3.2.3 – Cálculo da Pegada Hídrica Verde**

A “Pegada Hídrica Verde” é calculada com o volume de água das chuvas consumida durante um processo produtivo. Ela é particularmente relevante para os produtos florestais e agropecuários (produtos à base de plantas ou madeiras), pois se refere à água da chuva evaporada pela transpiração das plantações, somada à quantidade incorporada ao produto colhido.

$$WF_{\text{proc,verde}} = \text{Água verde evaporada} + \text{Água verde incorporada} \quad [2]$$

A Pegada Hídrica verde no processo de produção do tijolo é igual a zero uma vez que não há qualquer consumo de água verde.

### **3.2.4 – Cálculo da Pegada Hídrica Cinzenta**

A “Pegada Hídrica Cinzenta” de um produto é um indicador da poluição da água doce que pode ser associada à produção de um item ao longo de sua cadeia produtiva. É definida como o volume de água doce necessária para diluir os poluentes de modo que a qualidade da água se mantenha sempre acima dos padrões vigentes.

A Pegada Hídrica cinzenta é calculada pela divisão da carga poluente ( $L$ , em massa/tempo) pela diferença entre o padrão e qualidade de água para o poluente (concentração máxima admissível,  $c_{\text{máx}}$ , em volume/tempo) e a sua concentração natural no corpo de água recetor ( $c_{\text{nat}}$ , em massa/volume), [3]:

$$WF_{\text{proc,cinzenta}} = \frac{L}{C_{\text{max}} - C_{\text{nat}}} \quad [3]$$

No que se refere o  $c_{\text{máx}}$  para o CQO, o valor assumido foi de 150 mg/L, SST de 60 mg/L O<sub>2</sub> e Óleos minerais de 15 mg/L, tendo como fonte o Decreto-Lei nº236/98 de 1 de Agosto e considerando o valor limite de emissão (VLE) na descarga de águas residuais (Anexo XVIII). Seguindo a recomendação de (Hoekstra *et al*, 2011), assumiu-se o valor de  $c_{\text{nat}}$  igual a zero devido à ausência de dados mais concretos.

### 3.2.5 – Pegada Hídrica associada ao processo de produção do tijolo cerâmico

A Pegada Hídrica associada ao processo de produção do tijolo ( $WF_{\text{proc,tijolo}}$ ) é o somatório da componente azul, verde e cinzenta (equação 4). A Pegada Hídrica verde no processo de produção do tijolo é nula uma vez que não há qualquer consumo de água verde.

$$WF_{\text{proc,tijolo}} = WF_{\text{proc,azul}} + WF_{\text{proc,verde}} + WF_{\text{proc,cinzenta}} \quad [7]$$

A Pegada Hídrica Azul é calculada de acordo com a metodologia descrita na seção 3.2.1. A componente verde num processo industrial é igual a zero. A componente cinzenta da Pegada Hídrica associada ao processo de produção do tijolo é calculada de acordo com a seção 3.2.3.

## 3.3 – Definição dos Objetivos e do Âmbito

Este estudo da Pegada Hídrica tem dois objetivos: calcular a Pegada Hídrica do tijolo cerâmico, como exemplo de aplicação da Pegada Hídrica e contribuir para a criação de uma base de dados das Pegadas Hídricas, de materiais de construção.

Para o presente estudo, as fases de produção do tijolo optadas foram as seguintes: Pré-Preparação da Pasta, Preparação e Moldagem, Secagem, Cozedura e Embalamento. Na figura 8, a etapas do sistema de produção do tijolo em estudo foram reduzidas às mais importantes. Esta simplificação também foi aplicada às etapas que consomem água, bem como às que geram efluentes.

Não foram considerados os processos de produção dos restantes materiais e energia, bem como os transportes, intervenientes na cadeia de produção do tijolo (ex.: combustíveis, energia elétrica da rede, paletes, etc), por falta de dados que permitam o cálculo da Pegada Hídrica destes processos. Pelo mesmo motivo foram excluídas as fases de extração da argila, expedição, uso e opções de fim de vida (dos resíduos da embalagem). Considera-se pois, como fronteira do sistema, o processo de fabrico do tijolo cerâmico propriamente dito, ou seja, desde que a matéria-prima chega à unidade industrial até que os tijolos são embalados para posterior expedição e utilização em obra.

A unidade em relação à qual todos os resultados são expressos, é  $m^3/ton$  de tijolo.

No cálculo da Pegada Hídrica foram consideradas as componentes da Pegada Hídrica Azul, Verde e Cinzenta.

Os dados foram fornecidos pelo Centro Tecnológico de Cerâmica e Vidro, de uma empresa nacional, cuja representação a nível nacional de produção de tijolos é de cerca de 2,2% do total, usando os dados relativos a 2008. Não se obteve dados quanto à sua localização porque esta empresa quis manter a confidencialidade. Os dados recolhidos são referentes à produção de tijolos do ano de 2011.

O tijolo em análise é o tijolo 30x20x11 cm, tradicionalmente chamado de tijolo de “11”. Trata-se de um tijolo cerâmico de alvenaria de furação horizontal com estrias de reboco.

Na tabela 3 estão apresentados as características técnicas desse tijolo (30x20x11 cm).

Tabela 3 - Características Técnicas do tijolo cerâmico de alvenaria 30x20x11

Característica	Dimensão
Altura	190
Comprimento	290
Largura	109
Resistência à compressão	4,5 MPa
Reação ao Fogo	Euroclasse A1

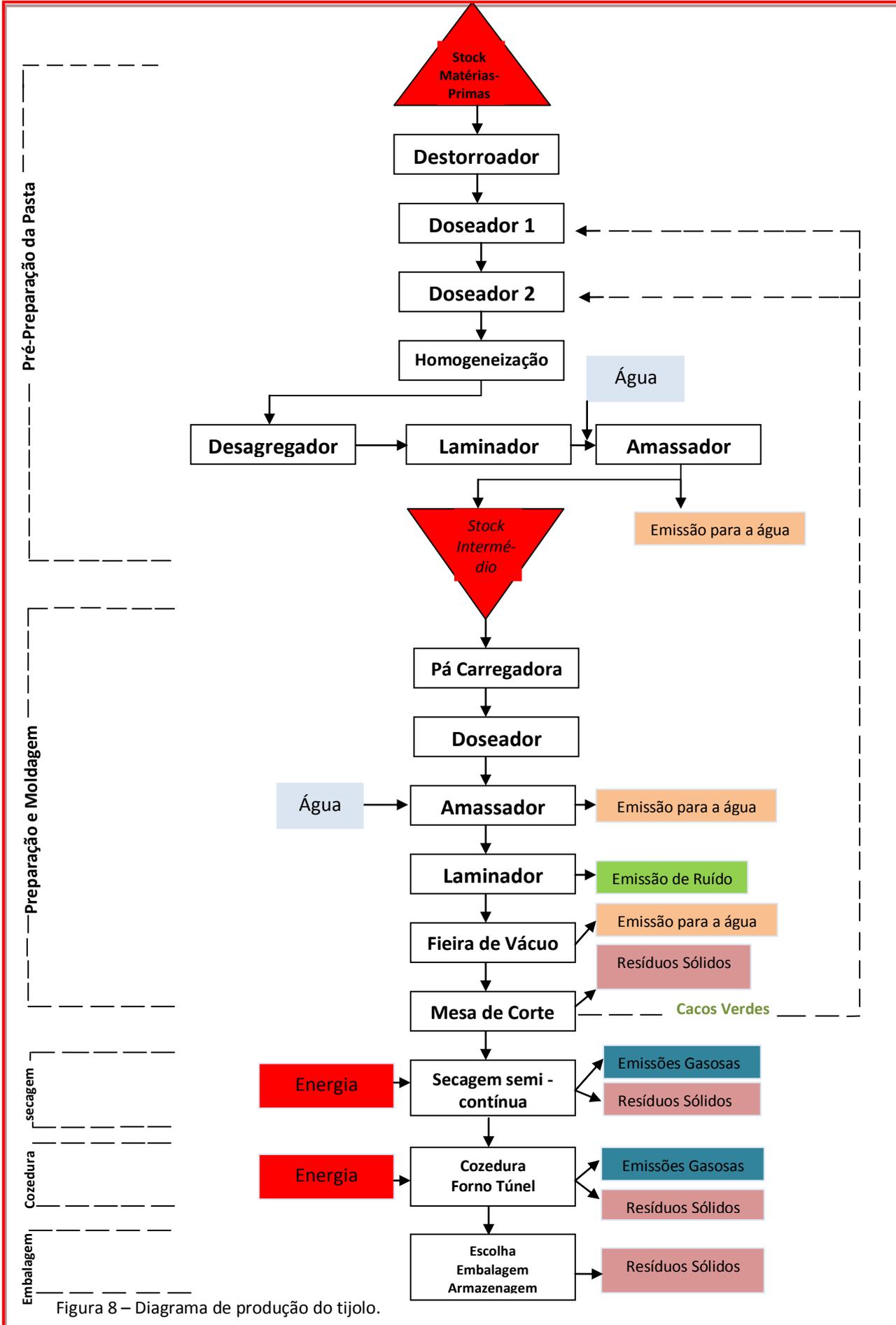


Figura 8 – Diagrama de produção do tijolo.

### 3.4 - Análise e Discussão dos Resultados

Nesta seção são apresentados e discutidos os resultados das Pegadas obtidos para a produção do tijolo.

#### 3.4.1 – Pegada Azul

A componente azul da Pegada Hídrica da produção do tijolo cerâmico, o valor encontrado é de 0.05 m<sup>3</sup>/ton e deve-se exclusivamente, à água usada na produção do tijolo cerâmico e que, deste modo, não regressa à bacia hidrográfica de onde foi retirada. A água é inserida na fase de Pré-Preparação da Pasta, na amassadura, e posteriormente na fase de Preparação e moldagem e também na fase de amassadura. Posteriormente, na fase de Secagem e na fase de Cozedura a água é evaporada. A quantidade de água usada é de 4106 m<sup>3</sup>. O fluxo de retorno é a parte de água captada e que retorna para a bacia hidrográfica de onde foi captada. Esta água pode, potencialmente, ser retirada e usada. A perda no fluxo de retorno é a quantidade de água que não regressa à mesma bacia. Por não se conhecer a localização da empresa, não se pode apurar a perda no fluxo de retorno e por isso assumiu-se o valor de zero.

A quantidade de tijolo cerâmico produzido é de 76.530,63 toneladas, sendo a produção anual de tijolos de 15.909.885,00 tijolos e a produção de tijolos do tipo 30x20x11 de 9.187.453,00 tijolos. Os dados foram fornecidos pelo Centro Tecnológico de Cerâmica e Vidro, de uma empresa nacional.

A pegada hídrica azul ( $WF_{\text{proc.azul}}$ ) em m<sup>3</sup>/ton é:

$$WF_{\text{proc.azul}} = \frac{4106 \text{ m}^3}{76.530,63 \text{ ton}} = 0.05 \text{ m}^3/\text{ton}$$

A Pegada Hídrica Azul ( $WF_{\text{proc.azul}}$ ), em m<sup>3</sup>/tijolo 30x20x11 é:

$$WF_{\text{proc.azul}} = \frac{4106 \text{ m}^3}{9.187.453 \text{ tijolos } 30 \times 20 \times 11} = 0.00045 \text{ m}^3/\text{tijolo } 30 \times 20 \times 11$$

### 3.4.2 – Pegada Verde

A Pegada Hídrica verde no processo de produção do tijolo é zero uma vez que não há qualquer utilização de água verde (água da chuva). A água verde refere-se à água da chuva que fica armazenada no solo ou que fica temporariamente sobre o solo ou a vegetação e que, portanto, não sofre escorrência superficial nem recarga de bacias hidrográficas. A Pegada Hídrica Verde é particularmente relevante para produtos agrícolas e florestais, referindo-se à soma da evapotranspiração total de água da chuva (a partir de campos e plantações), com a água da chuva incorporada na cultura. No caso industrial, a Pegada Hídrica Verde não se contabiliza, uma vez que não contém os parâmetros mencionados.

### 3.4.3 – Pegada Cinzenta

A Pegada Hídrica cinzenta associada a produção do tijolo calcula-se de acordo com a equação 3. A carga poluente (L) está quantificada na tabela 4. De acordo com valores recolhidos junto do Centro Tecnológico de Cerâmica e Vidro, os poluentes emitidos para a água são a Carência Química de Oxigénio (CQO), Sólidos Suspensos Totais (SST) e Óleos Minerais. Este valor de Pegada Hídrica cinzenta corresponde ao pior cenário, ou seja, ao cenário que conduz à maior pegada.

Tabela 4 - Emissões para a água

Emissão para a água (kg/ano)	
CQO	1.8
SST	1.5
Óleos minerais	0.5

No que se refere ao  $c_{m\acute{a}x}$  para o CQO, o valor assumido é de 150 mg/L, SST de 60 mg/L  $O_2$  e Óleos Minerais de 15 mg/L, tendo como fonte o Decreto-Lei nº236/98 de 1 de Agosto e considerando o valor limite de emissão (VLE) na descarga de águas residuais em meio hídrico (Anexo XVIII). Seguindo a recomendação de (Hoekstra *et al*,

2011), assumiu-se o valor de  $c_{nat}$  igual a zero devido à ausência de dados mais concretos.

A pegada hídrica cinzenta ( $WF_{proc,cinzenta}$ ) em  $m^3/ton$  é:

$$CQO: WF_{proc,cinzenta} = \frac{2.4 \times 10^{-5} \text{ Kg/ton}}{150 \text{ mg/L}} = 1.6 \times 10^{-4} m^3/ton$$

$$SST: WF_{proc,cinzenta} = \frac{2.0 \times 10^{-5} \text{ Kg/ton}}{60 \text{ mg/L}} = 3.3 \times 10^{-4} m^3/ton$$

$$\text{Óleos minerais: } WF_{proc,cinzenta} = \frac{0.7 \times 10^{-5} \text{ Kg/ton}}{15 \text{ mg/L}} = 4.4 \times 10^{-4} m^3/ton$$

O valor que corresponde ao pior cenário são os Óleos e Minerais com um valor de  $4,4 \times 10^{-4} m^3/ton$ .

A pegada hídrica cinzenta ( $WF_{Pproc,cinzenta}$ ) em  $m^3/tijolo$  de  $30 \times 20 \times 11$  é:

$$CQO: WF_{Pproc,cinzenta} = \frac{1.96 \times 10^{-7} \text{ Kg}}{150 \text{ mg/L}} \frac{tijolo \ 30 \times 20 \times 11}{m^3} = 1.1 \times 10^{-6} m^3/tijolo \ 30 \times 20 \times 11$$

$$SST: WF_{Pproc,cinzenta} = \frac{1.6 \times 10^{-7} \text{ Kg}}{60 \text{ mg/L}} \frac{tijolo \ 30 \times 20 \times 11}{m^3} = 2.7 \times 10^{-6} m^3/tijolo \ 30 \times 20 \times 11$$

$$\text{Óleos minerais: } WF_{Pproc,cinzenta} = \frac{5.4 \times 10^{-8} \text{ Kg}}{15 \text{ mg/L}} \frac{tijolo \ 30 \times 20 \times 11}{m^3} = 3.6 \times 10^{-6} m^3/tijolo \ 30 \times 20 \times 11$$

O valor que corresponde ao pior cenário são os Óleos e Minerais com um valor de  $3,6 \times 10^{-6} m^3/tijolo \ 30 \times 20 \times 11$ .

### 3.4.4 – Pegada Hídrica associada a produção do tijolo

A Pegada Hídrica associada a produção do tijolo apresenta-se na tabela 5.

A Pegada Hídrica total da produção de tijolo é de  $0.0505 m^3/ton$ , que representa, respetivamente, a Pegada Hídrica azul e a Pegada Hídrica cinzenta. Assim

cerca de 99% da Pegada Hídrica Total a produção do tijolo está associada à componente azul.

Tabela 5 Pegada hídrica associada à produção do tijolo

Pegada Hídrica (m <sup>3</sup> /ton)			
Azul	Verde	Cinzenta	Total
0,050	0	4.4x10 <sup>-4</sup>	0.05044
Pegada Hídrica (m <sup>3</sup> /tijolo 30x20x11)			
4.5x10 <sup>-4</sup>	0	4.0x10 <sup>-6</sup>	4.5x10 <sup>-4</sup>

A Pegada Hídrica associada à produção do tijolo é de cerca de 50 litros de água por tonelada de tijolo, sendo que a principal componente a contribuir para este valor é o da Pegada Hídrica azul. Por fim constata-se que a Pegada Hídrica cinzenta pouco contribui para a Pegada Hídrica Total, uma vez que as maiores emissões são para a atmosfera que propriamente para a água.

### 3.5 - Análise da Sustentabilidade e Formulação de respostas.

Na perspetiva ambiental, os valores da Pegada Hídrica cinzenta são reduzidos, uma vez que a grande maioria da água é evaporada nos sistemas de Secagem e Cozedura. Devido a esse facto os valores encontrados para a Pegada Hídrica cinzenta não afetarão os padrões de qualidade da água. A Pegada Hídrica azul, que é a componente com maior incidência na Pegada Hídrica Total na produção de uma tonelada de tijolo cerâmico, por não ter sido facultado a localização da empresa, não se pode avaliar se há mudanças nos padrões de escoamento, bem como a violação de requisitos ambientais dos caudais a nível local.

Na perspetiva Social, deve-se procurar um esforço de sensibilização para racionalizar o consumo de água e o tomar de consciência que a água é um recurso limitado por parte dos empregadores, colaboradores e outros intervenientes que de forma direta e indireta fazem parte da produção do tijolo cerâmico.

Na perspetiva económica, dado ao facto da crise que assola o país e que atinge também todo o setor da construção civil, a aplicação de novas formas que visem a

redução de água na produção de tijolos seria pouco viável. Todavia, a implementação de novas tecnologias de poupança de água seriam úteis e imprescindíveis para que haja um uso mais eficiente do recurso água, principalmente, na componente azul, que é a mais significativa. O aproveitamento de água evaporada no sistema de produção do tijolo iria reduzir substancialmente o consumo de água e provocaria a redução da Pegada Hídrica Azul.

As respostas e estratégias que visem à diminuição das pegadas encontradas não será efetuada neste estudo, uma vez que o estudo apenas se centrou na produção do tijolo cerâmico, excluindo a fase de extração da argila, transportes, uso, entre outros. Um estudo mais aprofundado de todo o processo produtivo do tijolo cerâmico delineará mais informações detalhadas que visem como conclusão a redução do consumo de água por parte da indústria cerâmica.

## Capítulo 4 – Conclusão e trabalhos futuros

A Pegada Hídrica é uma ferramenta de gestão de recursos hídricos que indica o consumo de água doce com base em seus usos direto e indireto. A metodologia da Pegada Hídrica permite que as iniciativas públicas e privadas, assim como a população em geral, entendam a quantidade de água que é necessário para a produção dos diversos produtos ao longo de toda a cadeia produtiva. Desta forma, os segmentos da sociedade podem quantificar a sua contribuição para os conflitos de uso da água e degradação ambiental nas bacias hidrográficas em todo o mundo.

Neste trabalho quantificou-se a Pegada Hídrica associada à produção de uma tonelada de tijolo cerâmico e identificou-se a principal componente de consumo de água relacionada com o produto em análise.

A pegada Hídrica associada à produção do tijolo é de 50L/tonelada. As componentes azul, verde e cinzenta são respetivamente, 99%, 0% e 0.1% do valor total da pegada hídrica. A componente azul é a mais significativa, sendo que a componente verde é inexistente, uma vez que não há qualquer utilização de água verde (água da chuva) e a cinzenta é praticamente inexistente comparada com a componente azul.

Mais importante que o cálculo da Pegada do tijolo de 10 foi a aplicação da metodologia que permitirá a existência de uma base de dados das pegadas de todos os materiais e produtos de construção civil e assim calcular a pegada hídrica de vários produtos, no setor da construção civil.

A Construção Civil é um sector onde os consumos de água são elevados pelo que o conhecimento da Pegada Hídrica dos diversos materiais e processos de construção contribuiria para um melhor planeamento de obra com vista à redução dos consumos de água.

São diversas as limitações que um projeto como este tem de enfrentar no seu desenvolvimento e são também diferentes as soluções adotadas para tentar minimizar os seus efeitos no resultado final.

A pesquisa inicial de literatura veio a revelar que existe um número reduzidos de estudos aprofundados sobre a Pegada Hídrica quer a nível internacional quer a nível nacional. Importa destacar, também a falta de dados próprios dos processos de produção do tijolo cerâmico.

Relativamente ao âmbito do estudo, se possível, deveria englobar mais atividades (como extração da argila) e materiais bem como o consumo de água pelos colaboradores da empresa.

No futuro, com base na norma ISO 14046 em elaboração para a Pegada Hídrica, poder-se-á eventualmente traçar medidas concretas de compensação das externalidades negativas da Pegada Hídrica, de resto semelhante ao que acontece na metodologia da pegada de carbono.

## Bibliografia

Agency, A. -A. (1997). *A guide to approaches, experiences and information sources life Cycle Assessment (LCA)*. Luxemburgo: Environment Issues Series, 6.

Agency, A. -A. (2007). *O ambiente na Europa: Quarta Avaliação - Resumo*. Luxemburgo: Serviço das Publicações Oficiais das Comunidades Europeias .

Aldaya, M., Santos, P., & Llamas, M. (2009). *Incorporating the Water Footprint and Virtual Water into Policy: Reflections from the Mancha Occidental Region*. *Water Resour Manage*.

Allan, T. (Março 2003). *Virtual Water: The water, food and trade nexus, useful concept or misleading metaphor? IWRA* (Vol. 28). *Water International*.

Almeida, M. I., & Dias, B. (2010). *Life cycle (cradle to gate) of a Portuguese brick*. (I. Portugal SB10, Ed.) Lisboa: Sustainable Building Affordable do All, Low Cost Sustainable Solutions.

Ambev. (2008). *Relatório de Sustentabilidade de 2008*. Brasil: ÓGUI - Agência de comunicação.

Ambev. (2008). *Relatório de Sustentabilidade de 2008*. Brasil: ÓGUI - Agência de comunicação.

APICER, & CTCV. (2009). *Caracterização do subsector da indústria cerâmica estrutural em Portugal . Para uma perspectiva de futuro*. Coimbra.

Chapagain, A. K., & Orr, S. (2009). *An improved water footprint methodology linking global consumption to local water resources: A case of Spanish tomatoes* (Vol. 90). *Journal Environmental Manegement*.

Cidin, R., & Silva, R. (2009, Abril). *propg.ufscar.br/*  
<http://www.propg.ufscar.br/publica/4jc/posgrad/resumos/0697-cidin.htm>.

Correia, A. S. (2000). *Cerâmica em Mudança: Reflexões sobre a Renovação e a Inovação Tecnológica na Indústria, In Avaliação Sectorial da Indústria Cerâmica para a formulação em Ambientes Competitivos* . Coimbra: APICER.

Ewing, B., Moore, D., Goldfinger, S., Oursler, A., Reed, A., & Wackernagel, M. (2010). *The Ecological Footprint Atlas 2010* . Oakland: Global Footprint Network .

Exame, R. (1999).  
[http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/desenvolvimento/conteudo\\_484437.shtml?func=1&pag=0&fnt=9pt](http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/desenvolvimento/conteudo_484437.shtml?func=1&pag=0&fnt=9pt). Retrieved Julho 2012

Feio, P. A. (1996). *A Indústria Cerâmica Portuguesa e a Integração Europeia: Breve Contribuição para um balanço* (62 ed.). Finisterra XXXI.

- Feio, P. A. (1998). *Território e Competitividade - Uma perspectiva geográfica do processo de internacionalização do sector cerâmico*. Lisboa: Edições Colibri.
- Foster, C., Green, K., Bleda, M., Dewick, P., Evans, B., Flynn, A., et al. (2006). *Environment impacts of Food Production and Consumption: A report to the Department for Environment, Food and Rural Affairs*. Defra, London: Manchester Business School.
- Galli, A., Wiedmann, T., Ercin, E., Knoblauch, D., Ewing, B., & Giljum, S. (2004). *Integrating Ecological, Carbon and Water Footprint: Defining the "Footprint Family" and its Application in Tracking Human Pressure on the Planet. 7th Framework Programme for Research and Technological Development*. Ecol. Indicators .
- Gerbens-Leenes, P. W., Moll, H. C., & Schoot Uiterkamp, A. J. (2003). Design and development of a measuring method for environmental sustainability in food production systems. *Ecological Economics*.
- Hails, C., Humphrey, S., & Goldfinger, S. (2008). *Living Planet Report 2008*. Gland, Switzerland: World Wide Fund of Nature.
- Hertwich, E., & Peters, G. (2009). *Carbon Footprint of Nations: A Global, Trade-Linked Analysis*. Oslo, Noruega : Environmental Science & Technology 43.
- Hoekstra, A. Y. (2008b). *Human appropriation of natural capital: Comparing ecological footprint and water footprint analysis*. Netherlands: Ecological Economics.
- Hoekstra, A. Y. (2008). *Water Neutral reducing and offsetting the impacts of water footprints. Value of Water Research Report Series Nº28*. Delf, Netherlands: UNESCO-LHE.
- Hoekstra, A. Y., & Chapagain, A. K. (2008). *Globalization of water: sharing the planet's freshwater resources*. The Netherlands: Blackwell Publishing.
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual, Setting the Global Standard*. The Netherlands: Earthscan Ltd.
- Hoekstra, A., & Chapagain, A. (2004). *Water Footprints of Nations. Value of water Research Report Series No 16 (Vol. 1 and 2)*. Delft - Netherlands: UNESCO-LHE .
- Hoekstra, A., Chapagain, A. Y., Aldaya, A. K., & Mekonnen, M. M. (2009). *Water Footprint Manual: State of the Art*. Ensched, The Netherlands : Water Footprint Network .
- Hoekstra, A., Chapagain, A., Savenije, H., & Gautam, R. (2006). *The water footprint of cotton consumption: An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries*. (Vol. 60). Netherlands: Ecological Economics.
- <http://www.allianceforwaterstewardship.org/>. (n.d.).  
<http://www.allianceforwaterstewardship.org/>. Retrieved Abril 2012, from allianceforwaterstewardship.
- <http://www.wwf.org.br/>. (n.d.). <http://www.wwf.org.br/>. Retrieved Abril 2012, from WWF.

- Klopffer, W. (1998). *Is LCA Unique?* (Vol. 3). The International Journal of Life Cycle Assessment.
- Koomey, J., Martin, N., Brown, M., Lynn, P., & Levine, M. (1998). *Costs of reducing carbon emissions: US building sector scenarios* (Vol. 26). Energy Policy.
- Koroneos, C., & Dompros, A. (2007). *Environmental assessment of brick production in Greece* (Vol. 42). Greece: Building and Environment.
- Natura. (2011). *Relatório Natura 2011*. Brasil: MSCI.
- OECD. (2001). *Corporate responsibility: Private initiatives and public goals*. Paris, France : OECD Publications .
- Pedroso, V. M. (2009). *Medidas para um uso mais eficiente da água nos edifícios*. (LNEC, Ed.) Portugal: Informações Científicas Técnicas.
- pelanatureza.pt. (2010, 06 25). Retrieved Abril 12, 2012, from pelanatureza.pt.
- Pereira, M. (2005). *Factores de Competitividade e Desempenho Empresarial - Um Estudo Aplicado ao Sector da Cerâmica em Portugal*. Tese de Doutoramento. Universidade de Aveiro.
- Seixas, V. S. (2011). *Análise da Pegada Hídrica de um conjunto de produtos agrícolas*. Lisboa.
- Unilever. (2010). *Unilever sustainable living plan*.
- Vasconcellos, J. (1907). *Indústria de Cerâmica*. Porto.
- Verçosa, E. J. (1994). *Materiais Cerâmicos*. In BAUER, L. F. *Materiais de Construção 2*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S. A. .
- virtualwater.eu. (n.d.). *virtualwater.eu*. Retrieved Abril 2012, 14
- Wackernagel, M., & Rees, W. (1998). *Our Ecological Footprint - Reducing Human Impact in the Earth* (6 ed.). Canada: New Society Publishers.
- Wackernagel, M., & Rees, W. (1998). *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth* (6 ed.). Canada: New Society Publishers.
- WBCSD. (2007). *Global Water Tool*. Conches - Geneva, Switzerland: World Business Council for Sustainable Development.
- WWC. (2003). *Virtual Water Trade - Conscious Choices. Synthesis in conference on virtual water trade and Geo-politics* (Vol. 2). WWC Publication .
- www.apicer.pt. (2012, Abril). *Associação Portuguesa da Indústria Cerâmica*.
- www.waterfootprint.org. (n.d.). Retrieved from Footprint.