



## Análise crítica da Pegada Hídrica Cinza na produção de celulose

doi: 10.4136/ambi-agua.1184

Received: 02 Sep. 2013; Accepted: 05 Dec. 2013

Vanessa Lucena Empinotti<sup>1\*</sup>; Natalia Dias Tadeu<sup>1</sup>; Renata de Souza Leão Martins<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade de São Paulo (PROCAM/USP); São Paulo – SP, Brasil

\*Autor correspondente: e-mail: empinotti@gmail.com,  
nat\_diast@hotmail.com, renatasouzaleao@usp.br

### RESUMO

Apesar do uso do método da Pegada Hídrica (PH) como uma ferramenta de gestão pelo setor privado, poucos são os estudos publicados que consideram as três frações do método no seu cálculo: Pegada Hídrica Azul -  $PH_{\text{azul}}$ , Pegada Hídrica Verde -  $PH_{\text{verde}}$  e Pegada Hídrica Cinza -  $PH_{\text{cinza}}$ . No caso específico da celulose, a  $PH_{\text{cinza}}$  não foi considerada no único artigo publicado devido a dificuldade de acesso aos dados referentes a composição dos efluentes gerados no processo produtivo e à qualidade dos corpos de água em seu estado natural. Nesse contexto, o objetivo deste artigo é analisar a contribuição da fração da  $PH_{\text{cinza}}$  do processo industrial no valor total da PH da celulose e suas consequências sobre ações para diminuir o impacto ambiental deste processo produtivo sobre os corpos hídricos. Os dados foram produzidos a partir de uma indústria hipotética localizada na bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, Brasil. Os poluentes analisados foram o cloreto total, fósforo total e fenol, todos característicos da produção de celulose e presentes na legislação dos três principais países produtores. Os resultados demonstraram que a  $PH_{\text{cinza}}$  do processo industrial pode responder a até 55% do valor total da PH da celulose. Além disso, os resultados apresentaram elevada variação em função dos parâmetros ambientais e do poluente de referência. Por fim, a redução dos valores da  $PH_{\text{cinza}}$  não deve ser considerada por si só, como um fim, isolada do contexto ambiental e político onde a produção de bens está inserida.

**Palavras chave:** Recursos Hídricos, Gestão, Políticas Públicas, Brasil, Canadá, Estados Unidos.

### A critical analyses of the Grey Water Footprint in the production of cellulose

#### ABSTRACT

While the Water Footprint (WF) is used as a management tool by the private sector, few published studies simultaneously consider all three of its constituent components in its estimation. The components are the Blue Water Footprint ( $WF_{\text{blue}}$ ), the Green Water Footprint ( $WF_{\text{green}}$ ), and the Grey Water Footprint ( $WF_{\text{grey}}$ ). In the case of cellulose production, the only paper published to date did not consider the  $WF_{\text{grey}}$  because of the difficulty in finding data relative to natural water quality or to the effluents' composition. In this context, this article seeks to analyze the  $WF_{\text{grey}}$  contribution to the WF of cellulose as well as its consequences for actions to mitigate the negative impact of production processes on water bodies. The study took place in a hypothetical industry located at the Paraíba do Sul River watershed, Brazil. The analyses considered pollutants, such as total chloride, total phosphorous, and phenol—all

present in pulp production effluent and regulated by legislation in the three main producer countries in the world. The results showed that the industrial  $WF_{grey}$  can account for up to 55% of the total WF for cellulose production. Additionally, the results indicated considerable variations in environmental standards as well as in the chosen pollutants. Finally, the reduction of the  $WF_{grey}$  values should not be considered an end in itself, without considering the environmental and political context in which the production process takes place.

**Keywords:** Water Resources, Management, Public Policy, Brazil, Canada, USA.

## 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de indicadores e práticas que levam ao uso eficiente da água são cada vez mais discutidos nos espaços de negociação nacionais e internacionais. Entretanto, nos últimos cinco anos, a apropriação de indicadores ambientais pelo setor produtivo trouxe atenção a um novo método chamado Pegada Hídrica (PH) que, diferentemente de outros métodos, representa o volume total de água, contabilizado em um determinado período de tempo, que é utilizado na produção de um bem ou serviço e pode ser calculada para um grupo de consumidores, uma família, empresa, cidade, estado ou nação (Hoekstra e Chapagain, 2008). É um indicador multidimensional que considera em seu cálculo não só o volume de água consumido a partir de diversas fontes, como a água superficial e subterrânea, e a água da chuva armazenada no solo, mas também a quantidade de água poluída durante o processo produtivo em um determinado local e período (Sousa Júnior e Vieira, 2012). O cálculo da Pegada Hídrica total considera três tipos de PH em referência aos tipos de água considerados pelo método: Pegada Hídrica Azul ( $PH_{azul}$ ), Pegada Hídrica Verde ( $PH_{verde}$ ) e Pegada Hídrica Cinza ( $PH_{cinza}$ ).

A  $PH_{azul}$  é definida como um indicador do volume de água superficial e/ou subterrânea alocada durante o processo produtivo. Para sua contabilização é considerado o volume de água evaporado, o volume de água que não retorna ao corpo hídrico de origem e o volume de água que não retorna ao corpo hídrico de origem no mesmo período do qual foi captado (ex: represas, armazenamentos de água). Já, a  $PH_{verde}$  indica a quantidade de água da chuva alocada na produção agrícola e silvícola, referindo-se ao total da água que é evapotranspirada pelas plantas, além da água armazenada no solo, mais a água incorporada no produto final (Hoekstra et al., 2011). Por fim, a  $PH_{cinza}$  é um indicador de poluição da água que pode ser associado com a produção de um produto. Refere-se ao volume de água requerido para que a poluição de um processo possa ser assimilada pelo corpo de água de acordo com o limite máximo estabelecido por legislação (ou qualquer outro limite adotado) ou em relação à qualidade natural do corpo hídrico em questão (Hoekstra, 2009).

No Brasil, estudos considerando a PH como método de análise se concentram principalmente nas áreas de produção animal (Palhares, 2011), cosméticos (Francke e Castro, 2013), na análise de dietas e padrões de consumo (Maracajá et al., 2013), na relação da PH com o ambiente (Sinisgalli e Tadeu, 2012), como também na análise do método da Pegada Hídrica na governança da água (Empinotti e Jacobi, 2013; 2012).

Entretanto, no caso do setor de papel e celulose, apenas um estudo foi publicado no mundo utilizando o método da PH, onde foram calculadas a quantidade de água alocada para a produção de papel em diferentes países (Van Oel e Hoekstra, 2012). Os resultados indicam as diferenças a partir da  $PH_{azul}$  e da  $PH_{verde}$ , entretanto desconsidera a fração da  $PH_{cinza}$  do processo industrial em seu cálculo (Van Oel e Hoekstra, 2012). De acordo com os autores, as razões pela não contabilização desta fração esta relacionada à falta de disponibilidade e a baixa qualidade dos dados, em escala global, referentes a composição dos efluentes gerados no processos produtivo e da qualidade dos corpos de água em seu estado natural (Van Oel e Hoekstra, 2012).

Enquanto que a discussão sobre a forma do cálculo e os resultados da  $PH_{cinza}$  do processo agrícola já foi realizada em outros artigos (Dabrowski et al., 2009; Chapagain et al., 2006), ainda é desconhecido o impacto da fração da  $PH_{cinza}$  do processo industrial no cálculo da PH da celulose. Uma vez que o método é muitas vezes utilizado como indicador de eficiência de uso da água de um produto, é importante entender o impacto da  $PH_{cinza}$  sobre valor total da PH. Assim, o objetivo deste trabalho é analisar a contribuição da fração da  $PH_{cinza}$  no valor total da PH da celulose e suas consequências sobre ações a serem definidas para diminuir o impacto ambiental de tal processo produtivo nos corpos de água. Para isso será calculado o valor da  $PH_{cinza}$  do processo industrial da produção de celulose em uma indústria hipotética de celulose, considerando os padrões ambientais dos três principais países produtores de celulose. Por fim, a partir dos resultados observados, será discutida a relevância de considerar a fração da  $PH_{cinza}$  e sua influência sobre as recomendações de ações para a melhoria das práticas produtivas do setor.

## 2. MATERIAIS E MÉTODO

Para atender aos objetivos aqui propostos, foi realizado um estudo de caso no qual são calculados os resultados da  $PH_{cinza}$  do processo industrial da produção de celulose nos países que ocupam as primeiras colocações no ranking mundial de produção e possuem parâmetros de qualidade de água em vigor, que são os Estados Unidos, Canadá e Brasil (BRACELPA, 2011). Em função de aspectos legais dos países analisados, foi necessária a seleção dos estados que apresentam a maior produção de celulose em cada país, pois no caso do poluente fenol, o limite máximo legal permitido para os corpos hídricos são definidos em âmbito estadual. Com isso foram considerados o estado da Georgia nos EUA, de British Columbia no Canadá e o estado de São Paulo no Brasil (BRACELPA, 2010; Johnson et al., 2011; Canadá, 1986).

Outro fator importante para o cálculo da PH é o processo industrial considerado para o cálculo da  $PH_{azul}$  e  $PH_{cinza}$ . O cálculo da  $PH_{cinza}$  exige a entrada de variáveis referentes à qualidade da água atual e natural do corpo hídrico de referência onde a água é captada e o efluente é descartado. Por isso optou-se por utilizar uma indústria hipotética localizada na bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, Brasil, região esta que concentra a produção de celulose no estado de São Paulo (43,8%, que representam 1.540.000 toneladas de celulose no ano de 2009) (BRACELPA, 2010). Neste cenário, a indústria hipotética estará seguindo os padrões de referência de qualidade na produção, ou seja, estamos assumindo que os resultados serão calculados dentro de um ambiente ideal, onde as melhores práticas definidas pelo setor são aplicadas.

Além de sua representatividade, esta escolha foi estratégica com relação à disponibilidade e acessibilidade aos dados. Com isso, o corpo hídrico de referência desse estudo é o Rio Paraíba do Sul, principal fonte de água para a produção de celulose na região. Os dados de produção da celulose foram calculados a partir de dados teóricos e estimativas. Abaixo é explicado como os cálculos da  $PH_{cinza}$  foram realizados.

### 2.1. Contabilização de Pegada Hídrica Cinza da celulose

Para a realização da análise deste trabalho foi necessário a aplicação do método proposto por Hoekstra et al. (2011) para a contabilização da  $PH_{cinza}$  de efluentes industriais. O método considera a carga adicional de determinado poluente e estima o volume de água por unidade de produto ou vazão (volume por tempo) para a diluição do poluente até que sua concentração retorne ao limite máximo estabelecido para aquele corpo hídrico. A  $PH_{cinza}$  de uma unidade de celulose (expressada em  $m^3 t^{-1}$ ) é estimada a seguir:

$$PH_{\text{cinza}} = [(Q_{\text{efluente}} \cdot C_{\text{efluente}}) - (Q_{\text{captação}} \cdot C_{\text{captação}}) / C_{\text{max}} - C_{\text{nat}}] / P \quad (1)$$

em que:

$Q_{\text{efluente}}$  corresponde ao volume ou vazão do efluente ( $L \text{ ano}^{-1}$ ),

$C_{\text{efluente}}$  é a concentração do poluente no efluente ( $mg L^{-1}$ ),

$Q_{\text{captação}}$  é o volume ou vazão da captação de água ( $L \text{ ano}^{-1}$ ),

$C_{\text{captação}}$  é a concentração atual do poluente na água do rio captada para utilização ( $mg L^{-1}$ ),

$C_{\text{max}}$  é a concentração máxima permitida do poluente ( $mg L^{-1}$ ),

$C_{\text{nat}}$  é a concentração do poluente natural da água do rio captada para utilização ( $mg L^{-1}$ ),

$P$  é o total de produção de celulose ( $t \text{ ano}^{-1}$ ).

### 2.1.1. Definindo os poluentes a serem considerados no cálculo da $PH_{\text{cinza}}$

Antes de realizar o cálculo da concentração de poluentes no efluente industrial, é necessário identificar qual poluente será utilizado como referencia na análise. De acordo com o método, o poluente escolhido deve ser aquele que possua a maior capacidade de contaminação, ou seja, que a presença de uma pequena quantidade de tal substância, necessite a maior quantidade de água para que os índices de qualidade da água sejam reestabelecidos.

Como a legislação ambiental e os padrões de qualidade de cada país identificam de diferentes maneiras os poluentes indicadores de poluição, foi realizado um levantamento bibliográfico sobre os poluentes comumente encontrados em efluentes de fábricas de celulose após a realização de tratamento prévio ao seu descarte ao corpo hídrico em diversos locais do mundo (Frizzo et al., 1996; Peralta-Zamora et al., 1997; Fonseca et al., 2003; Pokhrel e Viraraghavan, 2004; Rabelo, 2005; Mishra et al., 2009; Ko e Fan, 2010). Tal estudo indicou que o cloreto total, fósforo total e fenol como sendo poluentes comumente presentes nos efluentes da indústria de celulose.

Ao mesmo tempo, a escolha de tais poluentes foi definida pela sua presença como parte dos parâmetros de poluição dos estados da Georgia (EUA), British Columbia (Canadá) e São Paulo (Brasil).

### 2.1.2. Estimando a vazão e a concentração de poluente existente no efluente despejado no corpo hídrico ( $Q_{\text{efluente}}$ e $C_{\text{efluente}}$ )

Os dados referentes à vazão de efluentes de indústrias de celulose foram baseados nas melhores práticas ambientais do setor de celulose e papel. Assim, o volume médio de emissão de efluentes foi de  $35 \text{ m}^3 \text{ tsa}^{-1}$  (tonelada seca ao ar) (Bachmann, 2009).

Já os dados referentes à concentração de poluentes existente no efluente foram definidos a partir da literatura, onde os valores considerados para este estudo foram de  $581 \text{ mg L}^{-1}$  para cloreto total (Mishra et al., 2009),  $1,36 \text{ mg L}^{-1}$  de fósforo total (Rabelo, 2005) e  $0,05 \text{ mg L}^{-1}$  para fenol (Rabelo, 2005).

### 2.1.3. Estimando a vazão de captação de água para a produção de celulose ( $Q_{\text{captação}}$ )

Os dados referentes à vazão de captação de água foram baseados nas melhores práticas ambientais do setor de celulose e papel. Assim, o volume médio de captação de água encontrado foi de  $41 \text{ m}^3 \text{ tsa}^{-1}$  (Bachmann, 2009).

#### 2.1.4. Estimando a concentração de poluentes na água captada para a produção de celulose ( $C_{\text{captação}}$ )

Como apresentado anteriormente, o corpo hídrico de referência para este estudo foi o Rio Paraíba do Sul. Para a determinação das concentrações atuais do rio Paraíba do Sul ( $C_{\text{captação}}$ ), ou concentração da água captada para o processo produtivo, foi realizada a estimativa da média da concentração dos poluentes selecionados neste trabalho ao longo de todo o rio para o ano de 2009 (CETESB, 2010), que correspondem a 104 mg L<sup>-1</sup> de cloreto total, 0,1 mg L<sup>-1</sup> para o fósforo total e 0,0 mg L<sup>-1</sup> para o fenol.

#### 2.1.5. Estimando a concentração máxima permitida do poluente no corpo de água ( $C_{\text{max}}$ )

As concentrações máximas permitidas dos poluentes selecionados neste estudo para cada país foi realizada por meio de levantamento das legislações dos EUA, Canadá e Brasil e quando necessário, as legislações específicas dos estados selecionados. No caso do Brasil, utilizou-se a Resolução CONAMA 357/2005, para águas doces Classe 2 (Brasil, 2005). No caso canadense também foi utilizada a legislação federal como parâmetro de concentração máxima permitida no corpo hídrico para os mesmos poluentes (Canadá, sd). Porém para os EUA, no caso de cloreto e fósforo total foram utilizados os valores nacionais adotados pelo órgão ambiental americano, a *Environmental Protection Agency* (USEPA, 2012a; 2012b), mas para fenóis utilizou-se o valor adotado pela agência ambiental do Estado da Geórgia (Geórgia, 2005). A seguir, na Tabela 1, são apresentados os valores considerados no cálculo da  $PH_{\text{cinza}}$  de acordo com a legislação de cada país estudado.

**Tabela 1.** Concentração máxima permitida nos corpos hídricos (mg L<sup>-1</sup>) dos estados de São Paulo (Brasil), Geórgia (EUA) e British Columbia (Canadá).

Parâmetro	Brasil	EUA	Canadá
Cloreto total	250	230,00	120
P total	0,1	0,04	0,015
Fenol	0,003	0,34	0,004

**Fontes:** Resolução nº 357, de 17 de março de 2005 (Brasil, 2005) do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA); “Canadian Environmental Quality Guidelines” (Canada, 2012) do “Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME)”; “National Recommended water quality criteria” (USEPA, 2012a) e “Summary Table for the Nutrient Criteria Document (USEPA, 2012b) da “United States Environmental Protection Agency (EPA)”; “Rules and regulations for water quality control” (Geórgia, 2005) de “Georgia Department of Natural Resources Environmental Protection”.

#### 2.1.6. Estimando a concentração natural da água do corpo hídrico de referência ( $C_{\text{nat}}$ )

Devida a falta de dados que caracterizam as condições naturais da água do Rio Paraíba do Sul, optou-se por zerar a concentração natural de todos os poluentes estudados.

#### 2.1.7. Estimando a produção total de celulose (P)

A produção anual de celulose foi determinada com base na delimitação da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul, referente ao ano de 2009. Para isso foi necessário identificar as principais indústrias do setor localizadas na bacia, bem como sua produção referente ao ano de análise. Desta forma, a produção total do ano de 2009 estimada foi de 1.540.000 t ano<sup>-1</sup> (BRACELPA, 2010).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da  $PH_{cinza}$  de uma indústria hipotética de celulose foi calculada a partir dos parâmetros ambientais presentes nas legislações dos EUA, Canadá e Brasil e seus estados, que considerou três poluentes comumente encontrados nos efluentes de indústrias de celulose (cloreto total, fósforo total e fenol), como podem ser observado na Tabela 2.

**Tabela 2.** Resultados da  $PH_{cinza}$  da Produção de Celulose ( $m^3 tsa^{-1}$ ) para os três países analisados.

Parâmetro	Brasil	EUA	Canadá
Cloreto Total	27	71	136
Fósforo total	183	1.099	2.931
Fenol	625	6	441

A análise desses resultados indicou duas questões principais a serem discutidas com maior profundidade: a escolha do poluente a ser considerado no cálculo da  $PH_{cinza}$ , assim como a importância de considerar esta fração na análise dos resultados da PH e suas consequências.

#### 3.1. A escolha do poluente e seu impacto nos resultados da $PH_{cinza}$

Quando analisados os poluentes, os resultados obtidos para cada parâmetro apresentaram alta discrepância. De modo geral, os resultados de  $PH_{cinza}$  acompanharam os limites máximos permitidos por cada local de forma inversamente proporcional, ou seja, quanto menor a quantidade do poluente permitida no corpo hídrico, maior foi o valor da  $PH_{cinza}$ , como já discutido por outros autores (Hoekstra et al., 2011).

Ao mesmo tempo, os resultados indicaram uma grande diferença entre os poluentes considerados. Por exemplo, com relação ao fósforo total, observou-se que a  $PH_{cinza}$  do Canadá é aproximadamente 16 vezes maior que a do Brasil e 2,7 vezes maior que a dos Estados Unidos. Já no caso do fenol, os valores obtidos para a  $PH_{cinza}$  variaram de 6 a 625  $m^3 tsa^{-1}$ . Tal variação de resultados também reflete o grau elevado de flexibilidade do cálculo da  $PH_{cinza}$  proposto pelo método, uma vez que este define a escolha do poluente de acordo com a necessidade do maior volume de água para sua diluição (Sousa Júnior e Vieira, 2012). Entretanto, tal escolha, que desconsidera parâmetros como o grau de periculosidade do poluente com relação a sua toxicidade, tanto para humanos como para a vida aquática pode, inclusive, encobrir problemas ambientais mais graves e por fim orientar ações que não resolverão tais questões.

Por outro lado, a definição da concentração natural dos indicadores nos corpos hídricos é considerada problemática pela dificuldade em identificar o estado natural dos corpos de água e a não disponibilidade de dados de monitoramento da qualidade de água em sequências históricas. A primeira questão se refere a definir o que é a composição natural de um corpo de água, uma vez que grande parte das fontes de água já sofreram impacto antrópico e assim não representam mais as suas condições naturais. Por outro lado, o monitoramento da qualidade da água dos corpos hídricos é uma prática recente, principalmente em países em desenvolvimento, ocorrendo pouca ou nenhuma disponibilidade de dados sobre tais questões.

Neste contexto, uma das maneiras de contornar tais questões seria escolher o indicador de qualidade da água, listado pelas legislações como presente no efluente resultante da produção de um bem, que não tenha ocorrência natural nos corpos hídricos e que cause

impacto grave na saúde humana e na vida aquática. Conseqüentemente, o parâmetro original sugerido pelo método, que é o maior volume de água necessário para a sua diluição, não seria considerado como definitivo na escolha.

Com isso a escolha do indicador de qualidade da água combinaria o grau de periculosidade à saúde humana e ao meio aquático e a sua não ocorrência natural nos corpos hídricos. No caso específico deste estudo, o indicador mais apropriado seria o fenol.

### 3.2. A contribuição da fração da $PH_{cinza}$ no resultado final da PH e seu impacto nas ações de melhoria de eficiência de uso da água

Após identificarmos o poluente mais apropriado para o cálculo da  $PH_{cinza}$ , é também importante observar a contribuição desta fração no cálculo total da PH da celulose. Para isso foram utilizados os resultados já publicados sobre PH na produção de papel que identificou o valor da  $PH_{verde}$  da produção de madeira para celulose em várias partes do mundo (Van Oel e Hoekstra, 2012). Baseado neste estudo a  $PH_{verde}$  da produção de celulose no Canadá corresponde a  $2381 \text{ m}^3 \text{ tsa}^{-1}$ , enquanto que para os EUA o valor correspondente é de  $1923 \text{ m}^3 \text{ tsa}^{-1}$  e no caso do Brasil de  $749 \text{ m}^3 \text{ tsa}^{-1}$ . Neste estudo não foi considerada a  $PH_{cinza}$  do cultivo da madeira.

Já, para o cálculo da  $PH_{azul}$  do processo industrial, os dados foram baseados nas melhores práticas mundiais para o setor, onde os valores referentes a vazão de captação, vazão do efluente e produção total de celulose foram descritos nos itens 2.1.2, 2.1.3 e 2.1.7 deste artigo. Com isso o resultado obtido para a  $PH_{azul}$  da indústria hipotética deste estudo foi de  $6 \text{ m}^3 \text{ tsa}^{-1}$ .

Abaixo, na Tabela 3, é possível comparar os valores da PH considerando as diferentes frações de  $PH_{cinza}$  de acordo com o poluente considerado.

**Tabela 3.** Resultados da PH considerando a  $PH_{cinza}$  da Produção de Celulose ( $\text{m}^3 \text{ tsa}^{-1}$ ) para os três poluentes estudados.

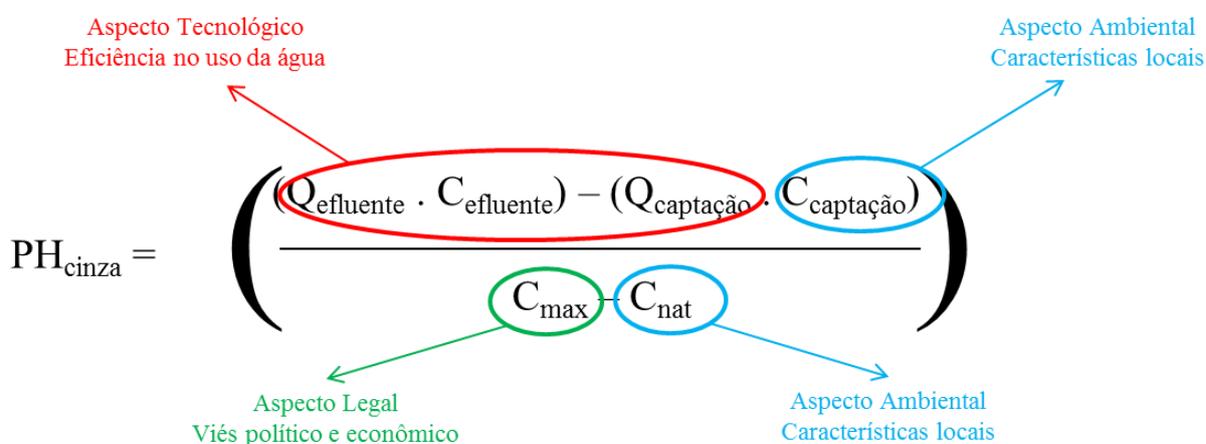
País	$PH_{Verde} + PH_{Azul}$	$PH_{Total}$ Cloreto	$PH_{Total}$ P	$PH_{Total}$ Fenol
Brasil	755	782	938	1380
Canadá	2387	2523	5318	2828
EUA	1929	2000	3028	1935

Assumindo a PH como uma ferramenta de gestão que direciona as ações para a promoção do uso mais eficiente da água nas práticas produtivas, observa-se que a contribuição da  $PH_{cinza}$  pode alterar as ações a serem definidas. No caso do Brasil, a desconsideração da  $PH_{cinza}$  indicaria que as ações deveriam ser focadas principalmente no aumento da eficiência na produção da madeira. Entretanto, quando inserida a fração da  $PH_{cinza}$ , o resultado final indicou que as ações do setor deveriam estar voltadas principalmente para o tratamento dos efluentes um vez que, dependendo do poluente, até 45% do valor total da PH é composto pela  $PH_{cinza}$ . O mesmo ocorreu para os casos do Canadá, onde a  $PH_{cinza}$  pode contribuir em até 55% do valor total da PH e nos EUA onde esta fração contribui em até 36% do resultado total.

Ao mesmo tempo, é importante salientar que o método da PH reflete os parâmetros ambientais definidos em cada região de produção, assim promovendo ajustes no uso da água de acordo com o definido pela legislação. Entretanto, a legislação é também o resultado de pressões políticas que influenciam na definição de tais parâmetros, podendo prevalecer o interesse do setor produtivo sobre a saúde humana e a conservação ambiental. Isto é observado no caso do fenol, onde as concentrações máximas permitidas são semelhantes entre

o Brasil e o Canadá, porém muito menos restritivas nos EUA. Tal diferença reflete a ação do setor produtivo sobre a definição de tais parâmetros como ocorreu recentemente no estado americano do Missouri que possui uma legislação mais restritiva do que o estado da Georgia ( $0,1 \text{ mg L}^{-1}$  comparado a  $0,34 \text{ mg L}^{-1}$ ) e sofreu pressão da indústria local para a diminuição das restrições. O argumento apresentado foi que em comparação aos demais estados americanos, o Missouri era o mais restritivo em relação a este poluente, chegando a superar os limites recomendados pela EPA e outros órgãos de saúde pública (Associated Industries of Missouri, 2010). Isto levou a flexibilização dos parâmetros no estado, e atualmente a concentração máxima permitida (considerando efeitos crônicos) corresponde a  $2,6 \text{ mg L}^{-1}$  (Missouri, 2011).

Dessa forma, observa-se que as variáveis da fórmula são influenciadas não apenas pelas tecnologias utilizadas e condições ambientais naturais, mas também pelas características legais de cada região e que podem levar a ações menos eficientes para a proteção do ambiente em consequência de uma legislação menos restritiva (Figura 1).



**Figura 1.** Classificação das funções de cada variável da fórmula da  $PH_{\text{cinza}}$ .

**Nota:**  $Q_{\text{efluente}}$  corresponde ao volume ou vazão do efluente,  $C_{\text{efluente}}$  é a concentração do poluente no efluente,  $Q_{\text{captacao}}$  é o volume ou vazão da captação de água,  $C_{\text{captacao}}$  é a concentração atual do poluente na água do rio captada para utilização,  $C_{\text{max}}$  é a concentração máxima permitida do poluente,  $C_{\text{nat}}$  é a concentração do poluente natural da água do rio captada para utilização.

## 4. CONCLUSÃO

Quando analisada as contribuições de cada fração da PH observou-se que a  $PH_{\text{cinza}}$  do processo industrial pode responder a até 55% do seu valor total, dessa forma revelando que as ações para aumentar a eficiência do uso da água devem considerar o aprimoramento do tratamento dos efluentes. Com isso, a consideração da  $PH_{\text{cinza}}$  do processo industrial aumenta o espectro das ações incluindo não apenas a fase agrícola mas também a fase industrial da produção da celulose.

Entretanto, o método proposto para o cálculo desta fração se mostra sensível às variações de seus componentes devido à disponibilidade de dados e fatores para a escolha do poluente adequado. Por um lado o cálculo da  $PH_{\text{cinza}}$  é baseado em um conceito problemático como “água natural” ao assumir a existência de parcelas dos corpos hídricos que ainda não sofreram ações antropogênicas e dessa forma mantém as características ambientais que resultam apenas dos processos ecossistêmicos. Por outro lado, o método também assume a existência de uma série histórica de monitoramento de qualidade de água dos corpos hídricos, fato este que ocorre apenas em algumas regiões específicas no mundo. Ao mesmo tempo, o método propõe um parâmetro simplificado de identificação do poluente, baseado apenas no volume de

diluição. O não reconhecimento de outros fatores como, por exemplo, o impacto do poluente na saúde humana e na vida aquática, pode desconsiderar problemas ambientais mais graves e assim diminuir a eficiência das ações para a melhoria da disponibilidade hídrica e conservação do ambiente, premissas-chaves a que o método se propõe. Para responder a estes pontos, se recomenda que o poluente escolhido para o cálculo da  $PH_{cinza}$  do processo industrial deva ser aquele que não está presente na natureza e que ao mesmo tempo represente alto risco para a saúde humana e vida aquática, o que responderia às questões críticas do método.

Da mesma forma, é importante notar o grau de variação dos resultados não ocorre apenas em função das legislações e parâmetros de qualidade de água, mas também devido ao poluente escolhido para o cálculo da  $PH_{cinza}$ . Isto reforça a importância do uso da PH como ferramenta de gestão para as unidades produtivas, assim como a necessidade de contextualizar os resultados do seu cálculo no escopo específico do estudo e de evitar a comparação de resultados entre produtos, como já discutido por outros autores (Sousa Júnior e Vieira, 2012; Hoekstra et al., 2011).

Finalmente, é importante observar a forma de interpretação dos resultados da PH. A redução dos valores da PH não deve ser considerada por si só, como um fim, isolada do contexto ambiental e político onde a produção de bens está inserida. Isto por que, os valores da  $PH_{cinza}$  respondem diretamente aos parâmetros de qualidade de água definidos por lei. Ou seja, leis menos restritivas levam a menores valores da  $PH_{cinza}$  pois, de acordo com o método, haverá menor necessidade em diluir os poluentes nos corpos hídricos uma vez que a sua presença é aceita em maior volume. Dessa forma, a alteração dos parâmetros ambientais para valores menos restritivos à presença de poluentes nos corpos hídricos levaria, automaticamente, à redução dos valores da PH sem a necessidade de alterar aos processos produtivos que promoveriam a redução de poluentes nos efluentes. Por isso, apenas a mudança nos parâmetros legais, além de degradar os recursos hídricos iria desestimular o investimento em novas tecnologias que visam diminuir o impacto das práticas produtivas sobre o ambiente. Logo, a redução do valor da  $PH_{cinza}$ , como consequência da flexibilização e diminuição das restrições dos parâmetros ambientais por si só, enfraqueceria políticas públicas e desrespeitaria o objetivo principal de tais ações que seria a conservação do recurso hídrico e a garantia de sua disponibilidade no ambiente.

## 5. AGRADECIMENTOS

Nossos agradecimentos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Apoio à Universidade de São Paulo (FUSP) pela concessão de bolsas que possibilitaram a realização desta pesquisa.

## 6. REFERÊNCIAS

- ASSOCIATED INDUSTRIES OF MISSOURI. Petition requesting to Phenol Water Quality Standard. 2010. Disponível em: <<http://www.dnr.mo.gov/env/wpp/rules/rir/phenol-PhenolPetition-filed10.12.10.pdf>>. Acesso em: 24 abr. 2012.
- BACHMANN, D. L. Benchmarking ambiental na indústria de celulose e papel. **O Papel** - Informe Técnico, p. 57 – 61, junho 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL - BRACELPA. **Relatório estatístico anual – 2009/2010**. 2010. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/estatisticas/rel2010.pdf>>. Acesso em: 13 mar. 2012.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL - BRACELPA. **Dados do setor – março de 2011**. 2011. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra/estatisticas/pdf/booklet/booklet.pdf>>. Acesso em: 13 jan. 2012.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 07 dez. 2013.
- CANADA. Energy, Mines and Resources. **The national Atlas of Canada** – Canada: pulp and paper mills. Ottawa: Geographic Service Division and Mapping Branch, Energy, Mines and Resources, 1986.
- CANADA. CCME. **Canadian environmental quality guidelines summary table**. Disponível em: <<http://st-ts.ccme.ca/?chems=28,164,167,194,204,205&chapters=1>>. Acesso em: 20 mar. 2012.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. **Qualidade das águas superficiais do Estado de São Paulo**. São Paulo, 2010. 310p.
- CHAPAGAIN, A. K.; HOEKSTRA, A.Y.; SAVENIJE, H. H. G.; GAUTAM, R. The water footprint of cotton consumption: an assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. **Ecological Economics**, v. 60, p. 186 – 203, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.11.027>
- DABROWSKI, J. M.; MURRAY, K.; ASHTON, P. J.; LEANER, J. J. Agricultural impacts on water quality and implications for virtual water trading decisions. **Ecological Economics**, v. 68, p. 1074 – 1082, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.07.016>
- EMPINOTTI, V.; JACOBI, P. R. **Pegada hídrica: inovação, corresponsabilização e os desafios de sua aplicação**. São Paulo: Annablume, 2012. 172p.
- EMPINOTTI, V.; JACOBI, P. R. Novas práticas de governança de água? O uso da pegada hídrica e a transformação das relações entre o setor privado, organizações ambientais e agências internacionais de desenvolvimento. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 27, p. 23-36, jan./jun., 2013.
- FRANCKE, I. C. M.; CASTRO, J. F. W. Carbon and water footprint analysis of a soap bar produced in Brazil by Natura Cosmetics. **Water Resources and Industry**, v. 1/2, p. 37-48, March/June, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wri.2013.03.003>
- FONSECA, J. A. V. M. DA; BARBOSA, M.; PINTO, N. O.; SALAN, R. S.; SOBRINHO, G. D.; BRITO, N. N. et al. Tratamento de efluentes líquidos de indústria de papel e celulose. In: FÓRUM DE ESTUDOS CONTÁBEIS, 3., 2003, Rio Claro. **Anais...** Rio Claro: Faculdades Integradas Claretianas, 2003.
- FRIZZO, S. M. B.; SILVA, M. C. M.; FOELKEL, C. E. B. Contribuição ao estudo de efluentes de indústrias de celulose e papel. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 129-136, 1996.
- GEORGIA. Department of Natural Resources Environmental Protection Division. **Rules and regulations for water quality control chapter 391-3-6 revised**. Atlanta, 2005.

- HOEKSTRA, A.Y.; CHAPAGAIN, A. K. **Globalization of water: sharing the planet's freshwater resources**. Oxford: Blackwell Publishing, 2008.
- HOEKSTRA, A. Y. Human appropriation of natural capital: a comparison of ecological footprint and water footprint analysis. **Ecological Economics**, n. 68, p. 1963 – 1974, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.06.021>
- HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K.; ALDAYA, M. M.; MEKONNEN, M. M. **The water footprint assessment manual: setting the global standard**. [S.l.]: Earthscan, 2011. 224p.
- JOHNSON, T. G.; PIVA, R. J.; WALTERS, B. F.; SORENSON, C.; WOODALL, C. W.; MORGAN, T. A. **National pulpwood production, 2008**. Asheville: Southern Research Station, 2011.
- KO, C. H.; FAN, C. Enhanced chemical oxygen demand removal and flux reduction in pulp and paper wastewater treatment using laccase-polymerized membrane filtration. **Journal of Hazardous Materials**, v. 181, p. 763–770, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.05.079>
- MARACAJÁ, K. F. B.; DA SILVA, V. P. R.; DANTAS NETO, J. Pegada hídrica dos consumidores vegetarianos e não vegetarianos. **Qualit@s Revista Eletrônica**, v. 14, n. 1, p. 1-18, 2013.
- MISHRA, D.; KHAN, M. A.; MUDGAL, M.; PADMAKARAN, P.; CHAKRADHAR, B. Performance evaluation of an effluent treatment plant for a pulp & paper mill. **Indian Journal of Chemical Technology**, v. 16, p. 79-83, 2009.
- MISSOURI. Department of Natural Resources. Regulatory impact report. In: **Preparation for proposing - an amendment to 10 CSR 20- 7.031**. Missouri Water Quality Standards, 2011. Disponível em: <<http://dnr.mo.gov/env/wpp/docs/RIRWQSMaster060311.pdf>>. Acesso em: 24 abr. 2012.
- PALHARES, J. C. P. Pegada hídrica dos suínos abatidos nos Estados da Região Centro-Sul do Brasil. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Maringá, v. 33, n. 3, p. 309-314, 2011.
- PERALTA-ZAMORA, P.; ESPOSITO, E.; REYES, J.; DURÁN, N. Remediação de efluentes derivados da indústria de papel e celulose. tratamento biológico e fotocatalítico. **Química Nova**, v. 20, n. 2, 1997. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40421997000200010>
- POKHREL, D.; VIRARAGHAVAN, T. Treatment of pulp and paper mill wastewater - a review. **Science of the Total Environment**, v. 333, p. 37– 58, 2004. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.05.017>
- RABELO, M. D. **Avaliação da aplicação combinada dos processos foto-fenton e biológico no tratamento de efluentes de indústria de celulose KRAFT branqueada**. 2005. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.
- SINISGALLI, P. A.; TADEU, N.D. O uso da pegada hídrica na análise do ambiente. In: **Pegada hídrica: inovação, corresponsabilização e os desafios de sua aplicação**. São Paulo: Annablume, 2012. p. 63-82.
- SOUSA JÚNIOR, W. C. D.; VIEIRA, B. C. Pegada hídrica como indicador: concepções e crítica metodológica. In: JACOBI, P. R.; EMPINOTTI, V. **Pegada hídrica: inovação, corresponsabilização e os desafios de sua aplicação**. São Paulo: Annablume, 2012. p. 45 - 62.

---

UNITED STATES. Environmental Protection Agency - USEPA. **National recommended water quality criteria**. Disponível em: <<http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/current/index.cfm#altable>>. Acesso em: 21 mar. 2012a.

UNITED STATES. Environmental Protection Agency. **Summary table for the nutrient Criteria Document**. Disponível em: <[http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/criteria/nutrients/upload/2007\\_09\\_27\\_criteria\\_nutrient\\_ecoregions\\_sumtable.pdf](http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/criteria/nutrients/upload/2007_09_27_criteria_nutrient_ecoregions_sumtable.pdf)>. Acesso em: 21 mar. 2012b.

VAN OEL, P. R.; HOEKSTRA, A. Y. Towards quantification of water footprint of paper: a first estimate of its consumptive component. **Water Resources Management**, v. 26, p 733-749, 2012. <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-011-9942-7>