



## Determinação de Fatores de Caracterização para avaliação de impactos na Escassez Hídrica em Sub-bacias cearenses

Edilene Pereira Andrade<sup>1</sup>, Maria Cléa Brito de Figueirêdo<sup>2</sup>, Kilvia de Freitas Alves<sup>3</sup>, Cássia Maria Lie Ugaya<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Ceará

<sup>2</sup> Embrapa Agroindústria Tropical

<sup>3</sup> Universidade Federal do Ceará

<sup>4</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Bolsista Produtividade CNPq

**Resumo.** Define-se escassez hídrica como o desequilíbrio entre a disponibilidade e a demanda de água, aspectos que variam de acordo com as condições da região estudada. É possível calcular fatores de caracterização (FC) para escassez hídrica, através de diferentes métodos para diversas regiões no mundo. Na avaliação de impacto na escassez hídrica, o volume de água consumida em cada processo unitário contemplado no estudo de um sistema de produto é multiplicado pelo FC da região onde esse processo ocorre. O somatório desses valores resulta no impacto do sistema de produto na escassez hídrica. O Método de Pfister et al. (2009), baseado no modelo WaterGAP 2, avalia a escassez física de água para os diversos usos humanos, utilizando a relação entre o consumo hídrico das indústrias, agricultura e doméstico e a disponibilidade de água presente nas bacias da região considerada (Withdrawal to availability-WTA). Essa relação é ponderada pela variação de precipitação anual e mensal em cada bacia (Variability in precipitation-VF), apresentando o resultado em função da combinação entre os dois fatores (Water Stress Index-WSI). O objetivo deste trabalho é calcular fatores de escassez para as 12 Unidades Hidrográficas Estaduais (UHE) do Ceará, utilizando valores de demanda e disponibilidade disponíveis nos Cadernos de Recursos Hídricos. Os novos fatores obtidos são comparados com os fatores originais disponibilizados por Pfister et al (2009). Utilizaram-se nesse trabalho dados de precipitação da normal climatológica (1961-1990) do Climatic Research Unit (CRU). Os valores apresentados para os índices de escassez hídrica estão em uma escala de 0,01 a 1,0, classificados como: baixo estresse hídrico possui  $WSI < 0,09$ ; médio,  $0,09 < WSI < 0,5$ ; alto,  $0,5 < WSI < 0,91$ ; e muito alto,  $WSI > 0,91$ . Os fatores obtidos para as bacias do Ceará foram: Acaraú-1,0; Alto Jaguaribe-0,02; Baixo Jaguaribe-1,0; Banabuiú-0,84; Coreaú-0,45; Curu-0,18; Litoral-0,99; Médio Jaguaribe-0,07; Metropolitana-1,0; Salgado-1,0; Serra da Ibiapaba-0,97 e Sertões do Crateús- 0,40. Comparando os resultados obtidos com os apresentados por Pfister et al (2009), observa-se que as sub-bacias do Alto Jaguaribe e Médio Jaguaribe tiveram igual classificação na escala adotada. Já as outras bacias apresentaram fatores que denotam maior escassez nesse trabalho. Os resultados mostram a importância de se utilizar dados de monitoramento locais no cálculo de fatores de caracterização para reduzir o erro em estudos de avaliação de impacto.

**Palavras-chave.** Avaliação de ciclo de vida; avaliação de impactos; água.

### Introdução

A crescente preocupação com os impactos ambientais gerados pela provisão de bens e serviços à sociedade tem sido indutora do desenvolvimento de novas metodologias que visam auxiliar na compreensão, controle e/ou redução desses impactos (CHEHEBE, 1997). A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma dessas metodologias e considera todo o ciclo de vida do produto, desde a extração da matéria-prima utilizada na produção, passando pelo seu uso e finalizando com a disposição final do produto.

No âmbito da avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV), vários métodos têm sido propostos com o intuito de desenvolver formas abrangentes e eficazes de avaliar os impactos de produtos e processos na intensificação da escassez hídrica local. Nesse contexto, vários métodos que geram fatores de caracterização (FC) de escassez hídrica, estão disponíveis: Frischknecht *et al.* (2006), Bösch *et al.* (2007), Milà i Canals *et al.* (2009) Pfister *et al.* (2009), Boulay *et al.* (2011), Bayart *et al.* (2014), entre outros. A aplicação dos fatores de caracterização desses métodos denotam o desequilíbrio entre a disponibilidade de água e a sua demanda, que variam de acordo com as condições da região estudada (FAO, 2012).



O método de Pfister *et al.* (2009) para obtenção de fatores de escassez hídrica é baseado no modelo WaterGAP 2 (ALCAMO *et al.*, 2003) que calcula a demanda e disponibilidade hídrica das bacias hidrográficas em todo o mundo. Esse método analisa apenas a escassez física de água para usos humanos em nível de ponto médio.

Núñez *et al.* (2015) propuseram o cálculo de fatores de caracterização para Espanha, adaptando por meio da regionalização a proposta de Pfister *et al.* (2009) mostrando que houve diferenças significativas causadas por XXXX. De fato, o uso de regionalização mais adequada para o cálculo dos FC também se faz necessário no Brasil.

A Agência Nacional de Águas (ANA) estabeleceu as Unidades Hidrográficas Estaduais (UHE), com foco na gestão dos recursos hídricos no país, que leva à atenção a aspectos geopolíticos como divisas estaduais ao invés de critérios estritamente hidrográficos.

A geração de fatores de caracterização para as UHEs no Brasil contribui para melhor consideração da questão hídrica em estudos de ACV de produtos cujos processos de produção, consumo e pós-consumo ocorrem no país. Nesse contexto, esse trabalho tem como objetivo gerar fatores de caracterização para escassez hídrica nas sub-bacias cearenses e comparar os resultados com os fatores disponibilizados por Pfister *et al.* (2009), buscando entender as regiões com divergências de resultados.

## Metodologia

Para a elaboração dos fatores de caracterização da escassez hídrica no Ceará, adotou-se o Método de Pfister *et al.* (2009), que segue os seguintes passos:

### 1- Cálculo da relação demanda x disponibilidade, WTA:

$$WTA_i = \frac{\sum_j WU_{ij}}{WA_i}$$

Onde:

WU é a Demanda de recurso hídrico nas UHE

WA representa a Disponibilidade hídrica da bacia *i* para os diversos usos *j*

WTA é Disponibilidade para retirada

### 2- Cálculo dos fatores de verificação (VF) por célula do CRU:

$$VF = e^{\sqrt{\ln(s^*mensal)^2 + \ln(s^*anual)^2}}$$

Onde:

VF= Fator que relaciona as variações mensais e anuais de precipitação na bacia.

$s^*_{mensal}$  e  $s^*_{anual}$  = Desvio padrões mensais e anuais nos valores de precipitação dentro da bacia.

### 3- Cálculo do WTA\*:



$$WTA * \begin{cases} \sqrt{VF} \times WTA \text{ para SRF} \\ VF \times WTA \text{ para não SRF} \end{cases}$$

Onde:

SRF são os fluxos fortemente regulados, definidos por Nilsson *et al* (2005).

#### 4- Cálculo do VF por bacia:

$$VF_{WS} = \frac{1}{\sum P_i} \times \sum_{i=1}^n VF_i \cdot P_i$$

Em que:

P é a média de Precipitação Anual em cada célula em m.

WS é o indicador que representa a bacia

#### 5-Cálculo do Índice de Estresse Hídrico por Bacia

$$WSI = \frac{1}{1 + e^{-6,4 \cdot WTA} \left( \frac{1}{0,01} - 1 \right)}$$

#### 6 – Dados das UHEs do Ceará

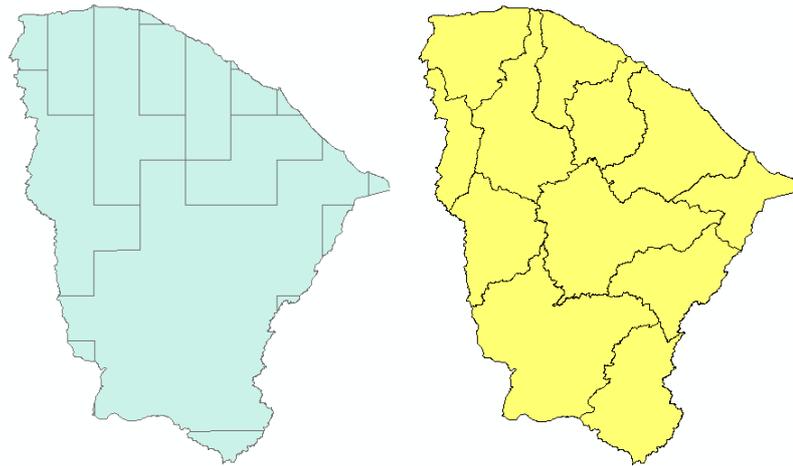
No presente trabalho, as bacias correspondem às UHEs. A ANA dividiu o Ceará em 12 unidades: Acaraú, Alto Jaguaribe, Baixo Jaguaribe, Banabuiú, Coreaú, Curu, Litoral, Metropolitana, Médio Jaguaribe, Salgado, Serra da Ibiapaba e Sertões de Crateús.

Os dados de disponibilidade e demanda hídrica para as UHEs do Ceará foram obtidos nos Cadernos Regionais (COGERH, 2002). Já os dados de precipitação média utilizados para o cálculo do VF foram obtidos de Harris *et al.* (2015) para a série histórica de 1961 a 1990. O Excel foi utilizado para manipulação dos dados estatísticos, facilitando o cálculo do WTA, WSI, além da análise dos resultados obtidos e geração de tabelas.

A ANA disponibilizou através do seu Geonetwork os arquivos (shapes) que delimitam as Unidades Hidrográficas Estaduais (UHE), que foi a regionalização adotada para geração dos FC.

Na Figura 1, têm-se as duas regionalizações discutidas nesse trabalho: a de acordo com o modelo hidrológico de WaterGap (esquerda) e a da ANA em sub-bacias (direita).

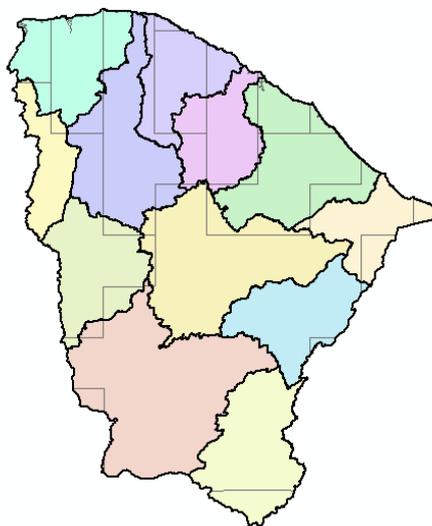
Figura 1: Regionalização de células de 0,5° x 0,5° do WaterGap e de sub-bacias da ANA



O método de Pfister não traz uma classificação de níveis de escassez, porém Nuñez et al.(2015) utiliza uma classificação que também é adotada nesse trabalho:  $WSI < 0,09$  ( $WTA < 0,2$ ): Baixo estresse hídrico;  $0,09 < WSI < 0,5$ ; ( $WTA < 0,4$ ): Médio estresse hídrico;  $0,5 < WSI < 0,91$  ( $WTA < 0,6$ ): Alto estresse hídrico;  $WSI > 0,91$  e ( $WTA > 0,6$ ): Muito alto estresse hídrico.

Para realizar a comparação com os resultados de Pfister *et al.* (2009) realizou-se ferramentas do software Arcgis 10.2.2 (versão trial), onde foram calculados valores médios, ponderados em relação à área ocupada na UHE, de disponibilidade e demanda hídrica, utilizando os limites das UHEs (figura 1).

Figura 1: Limites das UHEs (linhas mais espessas) e dos limites pelo modelo do WaterGap.



Analisando as tabelas 1 e 2, respectivamente do presente estudo e do de Pfister *et al.* (2009), verifica-se que apenas as bacias do Alto e Médio Jaguaribe apresentam mesma classificação nas duas situações analisadas. Em relação às outras dez bacias, os fatores de escassez gerados nesse trabalho revelam situações de maior escassez quando comparados aos fatores obtidos por Pfister *et al.* (2009). Essa situação se deve principalmente à disponibilidade hídrica. O modelo WaterGap utilizado por Pfister *et al.* (2009) para obtenção dos fatores de escassez apresenta valores de disponibilidade hídrica maiores que a situação relatada nos Cadernos (COGERH, 2002), resultando em menores valores de WTA e WSI do que calculados nesse trabalho.



Tabela 1: Resultados obtidos para as sub-bacias cearenses para nova regionalização

UHE	Demanda (m <sup>3</sup> /s)	Disponibilidade (m <sup>3</sup> /s)	VF	WTA	WTA*	WSI	Classificação estresse hídrico
Acaraú	7,37	12,393	3,008	0,595	1,789	1,00	Muito Alto
Alto Jaguaribe	0,914	21,742	1,910	0,042	0,080	0,02	Baixo
Baixo Jaguaribe	2,166	1,55	3,295	1,397	4,604	1,00	Muito Alto
Banabuiu	9,305	21,663	2,168	0,430	0,931	0,80	Alto
Coreau	0,6	3,416	3,560	0,176	0,625	0,36	Médio
Curu	3,175	11,822	1,766	0,269	0,474	0,17	Médio
Litoral	0,375	1,155	3,165	0,325	1,028	0,88	Alto
Médio Jaguaribe	5,08	31,88	1,939	0,159	0,309	0,07	Baixo
Metropolitana	13,041	20,62	4,580	0,632	2,896	1,00	Muito Alto
Salgado	3,531	6,44	5,333	0,548	2,924	1,00	Muito Alto
Serra da Ibiapaba	1,257	6,94	6,441	0,181	1,167	0,95	Muito Alto
Sertões de Crateús	1,257	6,94	3,369	0,181	0,610	0,33	Médio

Tabela 2: Resultados obtidos para as sub-bacias cearenses pelos dados adotados por Pfister

UHE	Demanda (m <sup>3</sup> /s)	Disponibilidade (m <sup>3</sup> /s)	VF	WTA	WTA*	WSI	Classificação Estresse Hídrico
Acaraú	19,551	677,461	3,008	0,029	0,087	0,02	Baixo
Alto Jaguaribe	20,699	716,955	1,910	0,029	0,055	0,01	Baixo
Baixo Jaguaribe	21,564	141,096	3,295	0,153	0,504	0,20	Médio
Banabuiu	19,088	659,860	2,168	0,029	0,063	0,01	Baixo
Coreau	17,436	773,720	3,560	0,023	0,080	0,02	Baixo
Curu	17,593	125,048	1,766	0,141	0,248	0,05	Baixo
Litoral	1,785	42,875	3,165	0,042	0,132	0,02	Baixo
Médio Jaguaribe	23,479	146,411	1,939	0,160	0,311	0,07	Baixo
Metropolitana	20,806	204,429	4,580	0,102	0,466	0,17	Médio
Salgado	137,998	2260,762	5,333	0,061	0,326	0,08	Baixo
Serra da Ibiapaba	18,204	810,017	6,441	0,022	0,145	0,02	Baixo estresse
Sertões de Crateús	19,939	690,125	3,369	0,029	0,097	0,02	Baixo estresse

Os fatores obtidos para as bacias do Ceará foram: Acaraú-1,0; Alto Jaguaribe-0,02; Baixo Jaguaribe-1,0; Banabuiu-0,80; Coreau-0,36; Curu-0,17; Litoral-0,88; Médio Jaguaribe-0,07; Metropolitana-1,0; Salgado-1,0; Serra da Ibiapaba-0,95 e Sertões do Crateús- 0,33. Comparando os resultados obtidos com os apresentados por Pfister et al (2009), observa-se que as sub-bacias do Alto Jaguaribe e Médio Jaguaribe tiveram igual classificação na escala adotada. Já as outras bacias apresentaram fatores que denotam maior escassez nesse trabalho.

As diferenças entre o resultado obtido nesse trabalho e o apresentado por Pfister *et al* (2009) são explicadas, principalmente, pelo uso de espacializações diferentes na definição dos limites das UHEs e pelos dados de disponibilidade hídrica do modelo WaterGap que superestima esse parâmetro. Os resultados obtidos nesse trabalho de maior escassez hídrica estão condizentes com a realidade hídrica do Ceará, na qual se percebe que há mais escassez do que abundância hídrica. Essa situação revela necessidade da proposição e adoção urgente de



# V Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida

20 a 23 de Setembro 2016 - Fortaleza, CE

medidas de economia de água e de processos que cada vez utilizem menos esse recurso, já escasso historicamente no Estado.

## Referências

Agência Nacional de Águas. Disponível em: <http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home> . Acessado em: 29 de outubro de 2015.

Agência Nacional de Águas (ANA) (2013) Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil. Brasília, DF. Disponível online em <[http://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/conjuntura/ANA\\_Conjuntura\\_Recurso\\_Hidricos\\_Brasil/ANA\\_Conjuntura\\_Recurso\\_Hidricos\\_Brasil\\_2013\\_Final.pdf](http://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/conjuntura/ANA_Conjuntura_Recurso_Hidricos_Brasil/ANA_Conjuntura_Recurso_Hidricos_Brasil_2013_Final.pdf)>

Alcamo, J.; Doll, P.; Henrichs, T.; Kaspar, F.; Lehner, B.; Rosch, T.; Siebert, S. Development and testing of the WaterGAP 2 global model of water use and availability. *Hydrol. Sci. J.* **2003**, *48* (3), 317–337.

Bayart J-B et al (2010). A framework for assessing off-stream freshwater use in LCA. *Int J Life Cycle Assess* 15(5): 439 – 453

Bösch ME, Hellweg S, Huijbregts M.A.J, Frischknecht R (2007) Applying cumulative exergy demand (CExD) indicators to theecoinvent database. *Int J Life Cycle Assess* 12 (3): 181–190

Boulay A-M et al. (2014) Building consensus on a generic water scarcity indicator for LCA-based water footprint: preliminary results from WULCA. Proceedings of the 9th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector, San Francisco, USA.

CHEHEBE, José Ribamar. Análise do ciclo de vida de produtos: ferramentas gerencial da ISO 14000. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1997. 104 p.

COGERH. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. “Pacto das águas- Plano Estratégico” . Disponível em: <http://portal.cogerh.com.br/downloads/category/83-pacto-das-aguas-plano-estrategico>. Acessado em: 01 de dezembro de 2015.

FAO (2012) Coping with water scarcity: An action framework for agriculture and food security. Disponível <<http://www.fao.org/docrep/016/i3015e/i3015e.pdf>> Acessado em 29 de outubro de 2015.

Frischknecht R et al. (2006) Swiss ecological scarcity method: the new version 2006. Swiss Federal Office for the Environment (FOEN), Switzerland.

Harris, I.; Jones, P. D.; Osborn, T. J.; Lister D. H. (2014) “Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 Dataset” Em: *International Journal of Climatology*, 34: 623-642, doi: 10.1002/joc.3711.

Milà i Canals L, Chenoweth J, Chapagain A, Orr S, Antón A, Clift R (2009) Assessing freshwater use impacts in LCA: part I - inventory modelling and characterisation factors for the main impact pathways. *Int J Life Cycle Assess* 14(1): 28–42.

Nunez M., Pfister S., Vargas M., Anton A.(2015) “Spatial and temporal specific characterisation factors for water use impact assessment in Spain” Em: *International Journal of Life Cycle Assessment*, 20 (1) , pp. 128-138.

Pfister S, Koehler A, Hellweg S (2009) “Assessing the environmental impacts of freshwater consumption in LCA”. *Environ Sci Technol* 43(11):4098–4104