



## Recomendação de modelos de caracterização mais apropriados ao contexto brasileiro para avaliação de impacto na escassez hídrica

Ana Lúcia de Almeida Castro<sup>1</sup>, Edilene Pereira Andrade<sup>2</sup>, Maria Cléa Brito de Figueirêdo<sup>3</sup>, Cássia Maria Lie Ugaya<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Ceará, [anacastro244@hotmail.com](mailto:anacastro244@hotmail.com)

<sup>2</sup>Universidade Federal do Ceará

<sup>3</sup>Embrapa Agroindústria Tropical

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

**Resumo.** A escassez hídrica pode ser definida como o desequilíbrio entre a disponibilidade de água e a sua demanda, aspectos que variam de acordo com as condições da região estudada. Nos últimos anos, diversos modelos de caracterização vêm sendo propostos para a avaliação dessa categoria de impacto ambiental, com o intuito de desenvolver formas abrangentes e eficazes de estudo do problema. Nesse contexto, este trabalho realizou uma revisão crítica de 12 modelos de caracterização de ponto médio publicados até dezembro de 2015. A avaliação foi feita com base nos critérios gerais definidos pela Rede Brasileira de Pesquisa em Avaliação de Impactos de Ciclo de Vida (Rede AICV): (1) escopo, mostrando o seu nível de abrangência com relação ao conceito de escassez utilizado e aos níveis geográfico e de fluxos elementares considerados; (2) robustez científica, relacionada à confiabilidade e transparência dos modelos, e (3) fatores de caracterização (FC) nacionais, analisando se os fatores gerados para o Brasil estão adequados para as divisões hidrogeográficas brasileiras, definidas pela Agência Nacional de Águas (ANA). Estes critérios contêm subcritérios de avaliação que possibilitam fornecer uma pontuação, de 1 (baixo) a 5 (alto) para cada modelo em cada critério. Com a média das três pontuações, os modelos identificados foram classificados. Essa avaliação resultou na recomendação dos modelos: Boulay et al. (2011), Pfister e Bayer (2013), e WULCA (2015). Esses modelos obtiveram média 4 de 5, apesar de possuírem considerações e modelagem diferentes. Além disso, uma pesquisa nas bases de dados nacionais foi feita para analisar a possibilidade de regionalização dos FCs desses três modelos para as bacias hidrográficas brasileiras, visando à posterior formulação de FCs adequados às grandes diferenças regionais e sazonais do Brasil. Com essa análise, verificou-se que todas as variáveis utilizadas nos modelos de Pfister e Bayer (2013) e WULCA (2015) são encontradas nas bases de dados nacionais, com exceção da demanda hídrica do ecossistema, sendo esses os dois modelos atualmente mais adequados para serem utilizados no Brasil para fins de regionalização dos fatores de caracterização. Os resultados desse trabalho apoiam a tomada de decisão na escolha de modelos de caracterização para a categoria de escassez hídrica, em estudos de AICV de produtos brasileiros.

**Palavras-chave.** Fatores de caracterização, AICV, revisão de literatura, escassez hídrica, regionalização.

### Introdução

A escassez hídrica pode ser definida como o desequilíbrio entre a disponibilidade de água e a sua demanda, aspectos que variam de acordo com as condições da região estudada (ISO, 2014; FAO, 2012). Esse desequilíbrio entre demanda e disponibilidade pode considerar apenas o aspecto quantitativo do volume de água (escassez física), como definido na norma ISO 14046 (ISO, 2014), ou abranger os aspectos de qualidade da água e acesso da população a água, como definido pela FAO (2012).

No âmbito da avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV), vários modelos de caracterização têm sido propostos nos últimos anos com o intuito de desenvolver formas abrangentes e eficazes de avaliar os impactos de produtos e processos na intensificação da escassez hídrica regional. Cada modelo adota conceitos diferentes de escassez hídrica, utilizando recortes espaciais e equações próprias para o cálculo da escassez, e gerando fatores de caracterização variados para uma mesma área.

Nesse contexto, este trabalho avalia diferentes modelos de caracterização de AICV disponíveis para geração de fatores de caracterização (FCs) para a categoria escassez hídrica, considerando critérios relacionados ao escopo, robustez científica e adequação dos FCs gerados para o Brasil. Além disso, o potencial de regionalização para as divisões hidrogeográficas brasileiras, definidas pela Agência Nacional de Águas (ANA), foi analisado com base em uma pesquisa desenvolvida nas bases de dados nacionais de livre acesso. O cálculo de FCs com dados mais precisos para as regiões hidrográficas brasileiras tornaria mais consistente e adequada a análise dos reais impactos que o consumo de água poderia causar no nível de escassez hídrica de certa região do país.



## Materiais e métodos

Os modelos de caracterização de escassez hídrica foram escolhidos por meio de revisão da literatura de artigos científicos publicados até dezembro/2015. Contemplou-se nesse estudo os seguintes modelos: eco fator de Frischknecht et al. (2006), DAEx de Bösch et al. (2007), WSI' e ADP de Milà i Canals et al. (2009), WSI de Pfister et al. (2009), índice de ponto médio de Boulay et al. (2011), Hoekstra et al. (2011), Loubet et al. (2013), Pfister e Bayer (2013), Bayart et al. (2014), Boulay et al. (2014). Adicionalmente foi avaliado o índice AWARE de WULCA (2015). Uma descrição sucinta desses modelos está apresentada no Anexo 1. Somente foram considerados modelos de ponto médio, ou seja, os que consideram os potenciais impactos de um produto ou serviço na disponibilidade hídrica devido à alta demanda de água humana ou do ecossistema.

A sistemática de avaliação foi feita com base nos critérios gerais definidos pela Rede Brasileira de Pesquisa em Avaliação de Impactos de Ciclo de Vida (RAICV): (1) escopo, mostrando o seu nível de abrangência com relação ao conceito de escassez utilizado e aos níveis geográfico e de fluxos elementares considerados; (2) robustez científica, relacionada à confiabilidade perante a comunidade científica e transparência com relação à modelagem utilizada, e (3) FCs nacionais, analisando a disponibilidade de fatores para o Brasil, além do nível de diferenciação geográfica e temporal apresentado (UGAYA et al. 2016). Além disso, uma análise qualitativa foi feita para as possibilidades de regionalização dos fatores para o Brasil, considerando a disponibilidade de informações para as variáveis dos modelos em bases de dados nacionais, principalmente na Agência Nacional de Águas (ANA).

Cada critério tem uma avaliação em que se atribui pontos dependendo da combinação de classificações obtidas de cada modelo nos subcritérios apresentados (Tabela 1). A pontuação final é originada com base na média simples das pontuações dos três critérios. Posteriormente, os modelos melhor pontuados são analisados de forma qualitativa com relação à disponibilidade de dados nacionais referentes as variáveis usadas no cálculo dos fatores de escassez hídrica.

Tabela 1: Critérios utilizados na avaliação e suas possíveis respostas.

\*Unidades Hidrográficas Estaduais e Regiões Hidrográficas definidas pela ANA

Critérios		Níveis de classificação e pontuação				
Critério 1 - Escopo		Alto (5)	Médio-alto (4)	Médio (3)	Médio-baixo (2)	Baixo (1)
1.1	Qual o conceito de escassez hídrica utilizado?	Quantitativo		Qualitativo e quantitativo		
1.2	Abrangência do escopo de aplicação:	-----				
1.2.1	Em nível de diferenciação espacial (geográfico).	Global	Nacional	Regional		Não operacional
1.2.2	Em nível de fluxos elementares (e.g. substâncias) considerados.	Alta	Média		Baixa	
Critério 2 - Robustez Científica		Alto (5)	Médio-alto (4)	Médio (3)	Médio-baixo (2)	Baixo (1)
2.1	É reconhecido pela comunidade científica?	Sim		Não		
2.2	O modelo apresenta a cadeia de causa e efeito ambiental?	Sim		Não		
2.3	Transparência e acessibilidade:	-----				
2.3.1	No Modelo de Caracterização (equações estão claras?).	Sim		Não		
2.3.2	As variáveis estão claras (métodos/bases de dados utilizados para obtenção das variáveis)?	Sim		Não		
Critério 3 - FC nacionais /Regionalização		Alto (5)	Médio-alto (4)	Médio (3)	Médio-baixo (2)	Baixo (1)
3.1	Possui FC para o Brasil?	Sim		Não		
3.1.1	Qual a escala geográfica?	UHE*		RH*		País
		Células de 0,5° x 0,5°		Grandes bacias hidrográficas		
3.1.2	Qual a escala temporal?	Mês		Ano	Atemporal	
3.1.3	Está espacialmente apropriado ao contexto nacional?	Sim		Não		



3.2	Os valores assumidos pelos FC para as regiões brasileiras demonstram a realidade atual de escassez hídrica?	Sim	Não
-----	---	-----	-----

Fonte: Adaptado de Ugaya et al. (2016)

## Resultados e discussão

### *Escopo de aplicação*

Analisando o conceito de escassez hídrica considerado nos estudos, a maioria deles considera apenas o aspecto quantitativo da escassez, como definido na ISO 14046 (ISO, 2014) (BÖSCH et al. 2007; FRISCHKNECHT et al. 2006; MILÀ I CANALS et al. 2009; BOULAY et al. 2014; LOUBET et al. 2013; PFISTER et al. 2009; PFISTER e BAYER 2013; WULCA 2015). Outros, porém, incluem o aspecto qualitativo também; tanto a funcionalidade para determinado uso humano (BOULAY et al. 2011), quanto o nível de qualidade de água necessário para a manutenção dos ecossistemas (BAYART et al. 2014; HOEKSTRA et al. 2011).

Com relação à abrangência geográfica, os modelos de caracterização de Bösch et al. (2007), WSI de Milà i Canals et al. (2009), Pfister et al. (2009), Boulay et al. (2011), Pfister e Bayer (2013), Boulay et al. (2014) e WULCA (2015) têm uma abrangência global, pois os estudos geram FCs para todo o mundo. Essa abrangência é a ideal, pois os estudos de ACV integram a cadeia de produção, consumo e pós-consumo de um produto com processos ocorrendo em diferentes bacias hidrográficas. Apesar disso, alguns estudos (FRISCHKNECHT et al. 2006; MILÀ I CANALS et al. 2009; HOEKSTRA et al. 2011; LOUBET et al. 2013; BAYART et al. 2014) só geram FCs para exemplos específicos, sendo considerados modelos não operacionais.

Na abrangência em nível de fluxos elementares considerados, a maioria dos estudos considera apenas um fluxo elementar, sendo de baixa abrangência (BAYART et al. 2014; LOUBET et al. 2013; BÖSCH et al. 2007; FRISCHKNECHT et al. 2006). Já os modelos de Boulay et al. (2011), Milà i Canals et al. (2009), Boulay et al. (2014), Pfister e Bayer (2013) e WULCA (2015) são de média abrangência, pois consideram tanto as águas superficiais quanto as subterrâneas. Por fim, Hoekstra et al. (2011) é o único estudo de alta abrangência por considerar, além das águas superficiais e subterrâneas, a umidade do solo (água verde).

### *Robustez científica*

Observa-se que, com exceção dos modelos de Loubet et al. (2013), Boulay et al. (2014) e AWARE (WULCA, 2015), todos os trabalhos avaliados fazem parte de algum artigo de revisão de literatura de AICV na categoria de escassez hídrica, como os estudos de Kounina et al. (2013) e Boulay et al. (2015), tendo reconhecimento por parte da comunidade científica internacional. É importante ressaltar que o modelo de caracterização AWARE não foi publicado ainda e Boulay et al. (2014) foi apresentado apenas em uma Conferência internacional. Entretanto, esses modelos são resultado de uma iniciativa internacional desenvolvida pelo WULCA (“Water Use in LCA working group”) para criar um consenso para a utilização de um indicador de escassez hídrica.

A maioria dos trabalhos têm suas considerações explicitadas de forma clara com relação ao mecanismo ambiental considerado (BOULAY et al. 2011; MILÀ I CANALS et al. 2009; LOUBET et al. 2013; BAYART et al. 2014; BOULAY et al. 2014; PFISTER et al. 2009; PFISTER e BAYER 2013; HOEKSTRA et al. 2011; WULCA 2015). Apenas os modelos de Bösch et al. (2007) e Frischknecht et al. (2006) não fornecem todas essas informações, pois não especificam os tipos de água (fluxos elementares) considerados.

A modelagem utilizada é apresentada de forma clara em todos os estudos, pois todos eles explicam as equações utilizadas no modelo desenvolvido, evidenciando as considerações feitas e os parâmetros aplicáveis. Além disso todos os trabalhos mostram como as variáveis são calculadas ou quais bases de dados são usadas para obtê-las, com exceção dos índices ADP de Milà i Canals et al. (2009) e pegada hídrica de Hoekstra et al. (2011).

### *Fatores de caracterização nacionais*

Os modelos que geram FCs para o Brasil são: Boulay et al. (2011), Boulay et al. (2014), Pfister e Bayer (2013), WULCA (2015), Pfister et al. (2009) e o WSI de Milà i Canals et al. (2009). Nesses trabalhos, as escalas geográficas utilizadas são diferentes: em nível de células de 0,5° de latitude x 0,5° de longitude (BOULAY et al. 2011; BOULAY et al. 2014; PFISTER et al. 2009; PFISTER e BAYER 2013; WULCA 2015); grandes bacias hidrográficas (MILÀ I CANALS et al. 2009; BOULAY et al. 2011; PFISTER et al. 2009; PFISTER e BAYER 2013), e país (BOULAY et al. 2011; PFISTER et al. 2009; WULCA 2015). A especificação de 0,5° x 0,5° é



obtida devido ao modelo hidrológico WaterGAP2 (ALCAMO et al. 2003), utilizado na maioria dos trabalhos para derivação dos dados de demanda e disponibilidade hídrica nesta escala geográfica. Esses resultados por célula são agregados para gerar FCs para grandes bacias hidrográficas ou país, com vários estudos gerando fatores em mais de uma escala geográfica.

Considerando a escala temporal, observa-se que duas escalas são empregadas: anual (BAYART et al. 2014; BOULAY et al. 2011; FRISCHKNECHT et al. 2006; MILÀ I CANALS et al. 2009; BOULAY et al. 2014; PFISTER et al. 2009; HOEKSTRA et al. 2011; BAYART et al. 2014) e mensal (LOUBET et al. 2013; HOEKSTRA et al. 2011; PFISTER e BAYER 2013; WULCA 2015). A escala mensal é importante na avaliação da escassez hídrica por ser capaz de considerar as variações sazonais presentes nos corpos hídricos. Percebe-se, então, que, entre os modelos com escala mensal, apenas WULCA (2015) e Pfister e Bayer (2013) geram FCs para bacias em todo o mundo, evidenciando a dificuldade em se obter dados mundiais com esse nível de detalhamento temporal.

O modelo de Bösch et al. (2007) não foi avaliado para esse critério devido ao fato de que os índices gerados para os 112 recursos naturais diferentes do estudo não terem nenhuma diferenciação geográfica e temporal.

As escalas hidrográficas consideradas apropriadas para o Brasil são as mesmas adotadas pela Agência Nacional de Águas (ANA), que divide os corpos hídricos brasileiros em 12 Regiões Hidrográficas (RH) e 450 Unidades Hidrográficas Estaduais (UHE) e fornece informações nesses níveis de detalhamento. Os trabalhos mais próximos da escala utilizada para as UHE são os que possuem uma especificação geográfica maior, utilizada no modelo WaterGAP (células de 0,5° x 0,5°): Boulay et al. (2011), Boulay et al. (2014), Pfister et al. (2009), Pfister e Bayer (2013) e WULCA (2015). Entretanto, esses mesmos modelos agregam os valores de várias células para fornecer FCs em uma escala geográfica maior. No caso do Brasil, essa escala se assemelha às RHs.

Com relação ao nível de escassez hídrica nas regiões brasileiras, de acordo com a ANA (2015), os índices de balanço hídrico (razão entre demanda e disponibilidade) fornecidos evidenciam uma situação de escassez hídrica na maioria da região nordeste, em parte do sudeste e no extremo sul do Brasil. Com essa realidade, os FCs gerados pelos modelos em estudo deveriam indicar um alto grau de escassez hídrica em parte das bacias hidrográficas brasileiras, mas isso não acontece. Ou seja, todos os modelos que geram FCs para o Brasil apresentam as bacias hidrográficas do país como de baixa escassez (BOULAY et al. 2011; MILÀ I CANALS et al. 2009; BOULAY et al. 2014; PFISTER et al. 2009; PFISTER e BAYER 2013; WULCA 2015) comparada a outras regiões do mundo.

Considerando a pontuação obtida pelos modelos de caracterização em cada critério, os modelos com classificações melhores foram Boulay et al. (2011), Pfister e Bayer (2013) e WULCA (2015), obtendo 4 pontos, sendo as recomendações preliminares do trabalho, considerando apenas a avaliação quantitativa (Tabela 2).

Tabela 2: Pontuação final de cada modelo de caracterização.

Modelos de caracterização	Pontuação final	Escopo	Robustez	FCs nacionais
Friskhnecht et al. (2006)	2,0	1	4	1
Bösch et al. (2007)	2,3	2	4	1
Milà i Canals et al. (2009) - WSI	3,3	3	5	2
Milà i Canals et al. (2009) - ADP	2,0	3	2	1
Pfister et al. (2009)	3,7	3	5	3
Boulay et al. (2011)	4,0	4	5	3
Hoekstra et al. (2011)	1,3	1	2	1
Loubet et al. (2013)	1,7	1	3	1
Pfister e Bayer (2013)	4,0	3	5	4
Bayart et al. (2014)	2,3	1	5	1
Boulay et al. (2014)	3,7	3	5	3
WULCA (2015)	4,0	3	5	4

### *Análise das possibilidades de regionalização dos FCs para as bacias hidrográficas brasileiras*

Foi realizada uma análise das possibilidades de adaptação dos FCs para o Brasil para os três modelos de caracterização com melhores pontuações (Tabela 2). Para isso, uma pesquisa nas bases de dados nacionais foi conduzida para identificar se existem dados para as variáveis utilizadas nesses modelos e em qual escala



geográfica e temporal essas informações estão disponíveis. Observou-se que dados de demanda humana de água (retirada e consumo) e de disponibilidade hídrica, utilizados nos três modelos, estão disponíveis na base de dados da ANA em nível de UHE. Entretanto, esses dados são fornecidos em escala anual, não sendo suficientes para os modelos de Pfister e Bayer (2013) e WULCA (2015), que precisam de dados mensais.

Para o índice AWARE (WULCA, 2015), a área dos corpos hídricos está disponível na ANA em escala anual e em nível de UHE. Já os valores de demanda hídrica do ecossistema não estão disponíveis nas bases de dados nacionais consideradas, mas podem ser encontrados no estudo global de Pastor et al. (2013) em nível de ecorregiões (ou RHs) e escala mensal. Para o modelo de Pfister e Bayer (2013), valores de precipitação mensais e anuais obtidos no INMET em séries históricas para o período de 1960 a 1990 poderiam ser adaptados das medições em estações meteorológicas para a escala geográfica das UHE da ANA.

Por fim, para o modelo de Boulay et al. (2011), a ANA fornece valores de água subterrânea renovável disponível em escala anual e em nível de RH. Porém, o nível de uso de águas subterrâneas não está disponível, pois os dados da ANA se referem somente à demanda total de água, não diferenciando por fonte. Além disso, valores relativos ao nível de qualidade da água, considerando vários poluentes diferentes também não estão disponíveis, pois os dados de qualidade fornecidos pela ANA na maioria das UHE são referentes apenas a demanda biológica de oxigênio (DBO) e condutividade elétrica (CE).

Com base nesses dados, percebe-se que todas as variáveis usadas nos modelos de Pfister e Bayer (2013) e WULCA (2015) podem ser obtidas nas bases de dados nacionais ou no estudo de Pastor et al. (2013). Já o modelo de Boulay et al. (2011) utiliza variáveis não disponíveis nas bases de dados pesquisadas.

## Conclusão

A avaliação quantitativa dos modelos de caracterização para a categoria de escassez hídrica mostrou que os trabalhos de Boulay et al. (2011), Pfister e Bayer (2013) e WULCA (2015) tiveram maior média com relação aos três critérios analisados. Porém, na análise das possibilidades de adaptação dos FCs para o Brasil, somente os modelos de Pfister e Bayer (2013) e WULCA (2015) têm todas as suas variáveis disponíveis em bases de dados nacionais ou nos estudos específicos citados. Logo, esses são os dois modelos atualmente mais apropriados para regionalização de fatores de caracterização para as UHEs brasileiras.

## Agradecimentos

ANA, CNPq.

## Referências bibliográficas

2030 WATER RESOURCES GROUP (2030 WRG) (2009) Managing our way to scarcity: The challenge ahead. *Charting our water future: Economic frameworks to inform decision-making*. Editora McKinsey & Company. pp. 38-65. Disponível em <http://www.mckinsey.com>.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA) (2015) *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil*. Brasília, DF. Disponível em: <http://www3.snirh.gov.br>.

ALCAMO, J., DOLL, P., HENRICH, T., KASPAR, F., LEHNER, B., ROSCH, T., E SIEBERT, S. (2003) Development and testing of the WaterGAP 2 global model of water use and availability. *Hydrological Sciences Journal*. V.48, N.3, pp. 317-337.

BAYART, J. B., WORBE, S., GRIMAUD, J., E Aoustin, E. (2014) The Water Impact Index: a simplified single-indicator approach for water footprinting. *International Journal of Life Cycle Assessment*. V.19, N.6, pp. 1336-1344.

BÖSCH, M.E., HELLWEG, S., HUIJBREGTS, M.A., FRISCHKNECHT, R. (2007) Applying cumulative exergy demand (CExD) indicators to the ecoinvent database. *International Journal of Life Cycle Assessment*. V.12, N.3, pp. 181-190.

BOULAY, A. M., BULLE, C., BAYART, J. B., DESCHÊNES, L., E MARGNI, M. (2011) Regional characterization of freshwater use in LCA: modeling direct impacts on human health. *Environmental science & technology*. V.45, N.20, pp. 8948-8957.

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.

BOULAY A-M et al. (2015) Analysis of water use impact assessment method (part A): evaluation of modeling choices based on a quantitative comparison of scarcity and human health indicators. *International Journal of Life Cycle Assessment*. V.20, N.1, pp. 139-160.



## V Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida

20 a 23 de Setembro 2016 - Fortaleza, CE

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO) (2012) *Coping with water scarcity: An action framework for agriculture and food security*. Roma, Itália. Disponível em <http://www.fao.org>

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

HOEKSTRA, A.Y. et al. (2011) *Manual de Avaliação da Pegada Hídrica: Estabelecendo o Padrão Global*. Editora: Earthscan.

ISO 14046 (2014) Water footprint – Principles, requirements and guidelines.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO) (2014) ISO 14046: *Water footprint – Principles, requirements and guidelines*. Geneva.

KOUNINA, A. et al (2013) Review of methods addressing freshwater use in life cycle inventory and impact assessment. *International Journal of Life Cycle Assessment*. V.18, N.3, pp. 707-721.

LOUBET, P., ROUX, P., NÚÑEZ, M., BELAUD, G., E BELLON-MAUREL, V. (2013). Assessing water deprivation at the sub-river basin scale in LCA integrating downstream cascade effects. *Environmental science & technology*. V.47, N.24, pp. 14242-14249.

MILÀ I CANALS, L. et al. (2009) Assessing freshwater use impacts in LCA: part I - inventory modelling and characterisation factors for the main impact pathways. *International Journal of Life Cycle Assessment*. V.14, N.1, pp. 28-42.

PASTOR, A. V., LUDWIG, F., BIEMANS, H., HOFF, H., E KABAT, P. (2014). Accounting for environmental flow requirements in global water assessments. *Hydrology and Earth System Sciences*. V.18, N.12, pp. 5041-5059.

PFISTER, S., KOEHLER, A., HELLWEG, S. (2009) Assessing the environmental impacts of freshwater consumption in LCA. *Environmental science & technology*. V.43, N.11, pp. 4098-4104.

PFISTER, S. E BAYER, P. (2013) Monthly water stress: spatially and temporally explicit consumptive water footprint of global crop production. *Journal of Cleaner Production*. V.73, pp. 52–62.

UGAYA, C.M.L et al. (2016). Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: método para análise da regionalização de fatores de caracterização. *Anais do V Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida (V CBGCV)*. 19 a 22 de setembro de 2016. Fortaleza – CE. (submetido).

VAN ZELM, R. et al. (2011) Implementing groundwater extraction in life cycle impact assessment: characterization factors based on plant species richness for the Netherlands. *Environmental science & technology*. V.45, N.2, pp. 629–635.

WULCA (2015) *New indicator for water scarcity footprint: AWARE (Available Water REmaininig)*. Disponível em: <http://www.wulca-waterlca.org/project.html>.