

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO INSTRUMENTO DA
COBRANÇA PELA ÁGUA BRUTA NAS BACIAS
CEARENSES: UMA APLICAÇÃO DA FRONTEIRA
INVERTIDA EM ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS**

Marcus Vinícius Sousa Rodrigues ¹
Marisete Dantas de Aquino ²
Antônio Clécio Fontelles Thomaz ³
Sílvia Helena Dantas de Lima ⁴
* Rejane Felix Pereira ⁴

**EFFICIENCY ANALYSIS OF THE RAW WATER CHARGING
INSTRUMENT IN CEARÁ BASINS: AN APPLICATION OF
INVERTED BORDER IN DATA ENVELOPMENT ANALYSIS**

Recibido el 10 de febrero de 2021. Aceptado el 27 de julio de 2021

Abstract

Water Resource Management is extreme importance to ensure access to all water users. Water resource management policies in Brazil take a management instruments among which a charges for the use of water resources. Many criteria can be used to make analyzing efficiency implementation of the charges for use of water in the river basin. Such an analysis requires the use of a scientific methodology called multicriteria analysis. The main objective of this research is to evaluate relative efficiency, through Data Envelopment Analysis (DEA), instruments of fee for the use of untreated water of main categories of use in the river basin in Ceará state. Thus, it is obtained a general diagnosis of this instrument in all of the State of Ceará. DEA models generally result in a large number of efficient units thus, it was decided to apply the inverted frontier methodology in order to identify and eliminate efficient units who present themselves with false efficiency. Application of DEA for charges for use of water reached the objective that it was to obtain a diagnosis of all river basins of the State of Ceará while the inverted frontier method ordered all analyzed UTDs. In general, the charges to industrial units in river basins of State of Ceará showed better results than the others, while irrigation units obtained the worst results.

Keywords: water resource management, charging for water use, data envelopment analysis.

¹ Universidade Federal do Maranhão (UFMA), São Luis, MA, Brasil.

² Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, CE, Brasil.

³ Universidade Estadual do Ceará (UECE), Fortaleza, CE Brasil.

⁴ Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), Acarape - CE, Brasil

**Autor correspondente:* Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Unidade Acadêmica Palmares, Rodovia CE 060-Km51.CEP: 62785-000, Acarape, Ce, Brasil.
Email: rejanefp@gmail.com

Resumo

O gerenciamento dos recursos hídricos é de extrema importância para assegurar o acesso a água a todos os usuários. As políticas de gerenciamento deste recurso no Brasil adotam instrumentos de gerenciamento, dentre os quais pode-se destacar a cobrança pela utilização da água. Os critérios que podem ser usados para se fazer uma análise da eficiência da aplicação da cobrança pela água em uma bacia hidrográfica são múltiplos. Para esse tipo de análise, é necessário a utilização de uma metodologia científica conhecida como análise multicritério. O objetivo principal deste trabalho consiste em avaliar a eficiência relativa, por meio da análise envoltória de dados, do instrumento da cobrança pela água bruta das principais categorias de uso nas bacias cearenses, obtendo assim, um diagnóstico geral desse instrumento em todo o Estado do Ceará. Os modelos AED geralmente resultam em um grande número de unidades eficientes, dessa forma optou-se por aplicar a metodologia de fronteira invertida de modo a identificar e eliminar as unidades eficientes que se apresentam com uma falsa eficiência. A aplicação de análise por envoltória de dados para a cobrança pela água atingiu o objetivo que era obter um diagnóstico de todas as bacias hidrográficas do Estado, enquanto o método da fronteira invertida ordenou todas as UTDs analisadas. No geral, as unidades referentes à cobrança do setor industrial nas bacias hidrográficas do Estado do Ceará se mostraram com resultados melhores do que as demais, enquanto a irrigação obteve os piores resultados.

Palavras chave: gestão de recursos hídricos, cobrança pelo uso da água, análise envoltória de dados.

Introdução

Os recursos hídricos são recursos naturais e econômicos importantes e estratégicos, formando a base para a sobrevivência e desenvolvimento de qualquer sociedade humana (Wang *et al.*, 2018). Assim, o gerenciamento dos recursos hídricos é de extrema importância para assegurar o acesso a água a todos os usuários, tanto na atualidade como no futuro.

Pode-se afirmar que a primeira legislação a tratar explicitamente a questão do gerenciamento dos recursos hídricos no Brasil foi Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934, chamado de Código das Águas (Brito; Aguiar, 2019). Somente em 1997 foi instituída a Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH, por meio da promulgação da Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, também conhecida como “Lei das Águas”.

No Brasil, o modelo atual de gerenciamento das águas adota este recurso como um bem natural público, limitado e com valor econômico. Segundo Rodrigues, Aquino e Thomaz (2015) as políticas de gerenciamento deste recurso no Brasil adotam instrumentos de gerenciamento, dentre os quais se destacam a outorga e a cobrança pelo uso dos recursos hídricos.

O instrumento da cobrança pelo uso das águas já era previsto no Código das Águas, porém nunca foi efetivamente aplicado antes da Lei das Águas. A cobrança é estabelecida conforme os objetivos elencados na PNRH (Demajorovic; Caruso; Jacobi, 2015) e segundo Ostrensky e Garcia (2017), essa cobrança tem uma dimensão econômica, que busca racionalizar o uso da água em uma dimensão financeira que favoreça a obtenção de recursos para investimentos na gestão hídrica.

É importante destacar que muitos estados antecederam à União na promulgação de uma política de recursos hídricos, dentre eles o Estado do Ceará, o qual promulgou a sua Política Estadual de Recursos Hídricos – PERH em 24 de julho de 1992, através da Lei nº 11.996. Nesta Lei, já estava previsto a cobrança pelo uso desses recursos como um dos instrumentos de gestão. Posteriormente, ela foi substituída pela Lei nº 14.844, de 28 de dezembro de 2010.

O Ceará foi o primeiro estado do Brasil a cobrar efetivamente pela utilização de seus recursos hídricos. A cobrança no Ceará foi efetivada por meio do Decreto nº 24.264, publicado no dia 12 de novembro de 1996, em que, de início, foram cobrados apenas os volumes de água a serem utilizados nos processos industriais e nas concessionárias de abastecimento público.

Conforme Rodrigues e Aquino (2014), somente a partir de 2004 essa cobrança passa a ser aplicada para as demais finalidades de uso. As categorias de uso de água bruta no Estado do Ceará são as seguintes: indústria, abastecimento público, irrigação, carcinicultura, piscicultura, água mineral e potável de mesa e demais usos. Contudo, essa cobrança possui valores diferenciados conforme a categoria de uso, o que se faz importante a verificação da eficiência da cobrança pela água bruta nas três principais categorias, a saber, indústria, abastecimento e irrigação.

A Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (COGERH) é o órgão responsável pelo faturamento e pela arrecadação dos recursos financeiros oriundos dessa cobrança, atuando como uma espécie de agência para todas as bacias hidrográficas do Estado.

Múltiplos são os critérios (ou fatores) que podem ser usados para se fazer uma análise da eficiência da cobrança entre as categorias de uso de uma bacia hidrográfica. Contudo, uma análise como essa requer o uso de uma metodologia científica chamada de análise multicritério (Rodrigues *et al.*, 2017). A análise multicritério atribui uma nota sobre determinado objetivo a ser alcançado, por intermédio do equacionamento no qual constam os critérios considerados, os pesos atribuídos e um ordenamento entre eles (Trevisan *et al.*, 2011). Dessa forma, as soluções são ordenadas, de modo a selecionar as mais desejáveis.

Uma ferramenta que pode ser usada nesta análise multicriterial é a análise por envoltória de dados – AED. Tal ferramenta pode ser entendida como um método para avaliar o desempenho (eficiência) de um conjunto de unidades que realizam as mesmas tarefas e que apresentam os mesmos insumos (entradas) e os mesmos produtos (saída).

A AED surgiu como uma técnica derivada da Pesquisa Operacional (PO) que é baseada em um modelo de programação linear, podendo ser facilmente resolvida com ferramentas computacionais atuais (Macedo; Jamil, 2019). É uma técnica muito importante para situações em que se deseja analisar a eficiência de um conjunto de unidades produtivas de um mesmo ramo.

O objetivo deste trabalho consiste em avaliar a eficiência relativa, por meio da análise envoltória de dados, do instrumento da cobrança pela água bruta das principais categorias de uso, a saber, abastecimento, indústria e irrigação, dentro das bacias cearenses, obtendo assim um diagnóstico geral desse instrumento em todo o Estado do Ceará. Para isso, foram definidas as unidades tomadoras de decisão – UTDs a serem analisadas, definindo as variáveis, entre insumos e produtos, que serão utilizadas para o cálculo da eficiência relativa de cada UTD. E em seguida, foi aplicada a metodologia da fronteira invertida em AED, de modo a ordenar as UTDs definidas e identificar, dentre os *benchmarks*, as unidades com falsa eficiência.

Análise envoltória de dados

Segundo Pradhan e Kamble (2015), a produção pode ser entendida como a ação de transformar recursos, ou insumos, em produtos com o auxílio de tecnologia. Conforme Rodrigues *et al.* (2017), os insumos empregados dentro de um processo produtivo de algum produto precisam ser utilizados de modo a evitar excessos e desperdícios.

Assim, a produtividade é considerada como um importante indicador para medir o grau de desempenho, ou eficiência, de uma unidade produtiva (Honglan; Ruyun; Xiaona, 2014). Logo, o conceito de eficiência está relacionado à comparação entre as medidas de produtividades de várias unidades produtivas que produzem os mesmos produtos, sendo, portanto, uma medida relativa.

A análise envoltória de dados pode ser definida como uma técnica de programação matemática usada para medir a eficiência de unidades de produção que converte múltiplas entradas, ou insumos, em saídas, ou produtos (Mirdehghan; Fukuyana, 2016). Segundo Cherchye, De Rock e Walheer (2016), ela pode ser considerada uma técnica não paramétrica, uma vez que não exige uma relação funcional entre os insumos e os produtos.

Para Pereira e Soares de Melo (2015), a AED pode ser considerada como uma ferramenta matemática fundamental nos estudos direcionados a investigar a eficiência (ou desempenho) de unidades produtivas. Essas unidades são conhecidas por unidades tomadoras de decisão – UTD (ou DMU, cujo significado é Decision Making Unit) e qualquer conjunto de unidades que realizam fundamentalmente a mesma tarefa pode ser avaliado por meio desta técnica.

As UTDs são comparadas conforme o conceito de eficiência de Farrel, que é definido, de acordo com Dotoli *et al.* (2015), como a relação entre a soma ponderada dos produtos e a soma ponderada dos insumos de cada UTD. a medida de eficiência, indicada por E_f , para “m” insumos e “s” produtos, é dada pela equação 1:

$$Ef = \frac{\sum_{i=1}^s U_i Y_i}{\sum_{j=1}^m V_j X_j}$$

Equação (1)

dado que: U_i é o peso do i -ésimo produto Y_i , sendo que $i = 1, \dots, s$; e, V_j é o peso do j -ésimo insumo X_j , em que $j = 1, \dots, m$.

Segundo Song *et al.* (2015), a principal vantagem da AED é que a medição da eficiência relativa não necessita a priori da atribuição dos pesos das variáveis e qualquer relação funcional entre insumos e produtos. Ou seja, o próprio método calcula os pesos das variáveis avaliativas, insumos e produtos, de cada UTD analisada. Assim, de acordo com Bayazid *et al.* (2019), a metodologia da AED mede a eficiência relativa, que varia de 0 (zero) a 1 (um), identificando as melhores UTDs de um conjunto analisado. Dessa forma, as UTDs são classificadas em dois grupos: as eficientes com medidas iguais a unidade (ou 100%) e as não eficientes, com medidas inferiores a unidade. De acordo com a definição dada na equação (1) é possível afirmar que as melhores relações “produtos/insumos” são consideradas mais eficientes.

A metodologia AED possibilita a construção de uma fronteira linear por partes, chamada de fronteira eficiente, cujos vértices são formados pelas unidades eficientes, comumente chamadas de *benchmarks* (Park *et al.*, 2015). As unidades ineficientes se encontram abaixo da desta fronteira e segundo Geng *et al.* (2019), o grau de ineficiência dessas unidades é medida pela distância que se encontram da fronteira.

A metodologia ainda traça metas a serem alcançadas pelas unidades ineficientes para que elas atinjam a eficiência, tendo as *benchmarks* como modelos a serem seguidos. Assim, uma unidade ineficiente pode alcançar a fronteira eficiente de duas formas: através da minimização das entradas (insumos), mantendo constantes as saídas (produtos), chamada de orientação a insumo; e, por meio da maximização das saídas (produtos), mantendo constantes as entradas (insumos), chamada de orientação a produto.

A AED é composta por dois modelos que são considerados clássicos: o modelo que admite retornos de escala constante – CCR, também conhecido como *Constant Return to Scale*, CRS, e modelo que admite retornos variáveis de escala – BCC, também conhecido como *Variable Return to Scale* - VRS. Ambos os modelos podem ser usados tanto com uma orientação a insumo como com uma orientação a produto.

O modelo CCR foi apresentado à comunidade científica com o trabalho publicado por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), cujo objetivo foi analisar as eficiências dos programas escolares do Texas – USA. Enquanto o modelo BCC foi desenvolvido no trabalho de Banker, Charnes e Cooper (1984), que passou a admitir retornos variáveis de escala. É importante destacar que o modelo BCC é o mais adequado para aplicações onde os insumos e os produtos apresentam tamanhos variáveis.

Para “n” UTDs, que realizam tarefas semelhantes, utiliza-se “m” insumos para produzir “s” produtos, em um modelo BCC, com orientação a insumo, os pesos atribuídos aos insumos e aos produtos de uma UTD objeto, indicada por UTD_O, são determinados pela resolução da seguinte equação

$$\text{Max } E_{fO} = \sum_{i=1}^s U_i Y_{iO} + U_* \quad \text{Equação (2)}$$

Em que:

$$\sum_{j=1}^m V_j X_{jO} = 1 \quad \text{Equação (3)}$$

$$\sum_{i=1}^s U_i Y_{ik} - \sum_{j=1}^m V_j X_{jk} + U_* \leq 0; (k = 1, \dots, n) \quad \text{Equação (4)}$$

$$U_i \geq 0 (i = 1, \dots, s); V_j \geq 0 (j = 1, \dots, m); U_* \in \mathbb{R} \quad \text{Equação (5)}$$

onde: E_{fO} é a eficiência relativa da UTD_O; Y_{ik} e X_{ik} são as quantidades de produto observado i da unidade k e de insumo observado j da unidade k , respectivamente; U_i e V_j são os pesos dados ao produto i e ao insumo j , respectivamente; e, Y_{iO} e X_{jO} são as quantidades do produto i e do insumo j da unidade objeto, respectivamente.

Caso a variável U_* seja positiva, os rendimentos de escala serão não decrescente (RND), enquanto que, se esta variável for negativa tem-se rendimentos de escala não crescente (RNC). Vale salientar que a eficiência de uma UTD será alcançada pela redução dos insumos.

No modelo BCC, com uma orientação ao produto, se apresenta conforme a seguinte equação

$$\text{Min } h_O = \sum_{j=1}^m V_j X_{jO} + V_* \quad \text{Equação (6)}$$

Em que:

$$\sum_{i=1}^s U_i Y_{iO} = 1 \quad \text{Equação (7)}$$

$$\sum_{i=1}^s U_i Y_{ik} - \sum_{j=1}^m V_j X_{jk} + V_* \leq 0; (k = 1, \dots, n) \quad \text{Equação (8)}$$

$$U_i \geq 0 (i = 1, \dots, s); V_j \geq 0 (j = 1, \dots, m); V_* \in \mathbb{R} \quad \text{Equação (9)}$$

onde: $h_O = 1/E_{fO}$.

Caso a variável livre V^* seja positiva, então, o modelo apresentará rendimentos de escala não crescente (RNC), enquanto que, se a variável livre for negativa, pode-se afirmar que o modelo apresenta rendimentos de escala não decrescente (RND).

É importante destacar que os modelos CCR e BCC são facilmente resolvidos por técnicas de programação linear padrão e conforme afirmam Zhu, Wu e Song (2018), as resoluções desses modelos são consideradas computacionalmente fáceis.

Conforme Silveira, Ângulo Meza e Soares de Mello (2012), o método da fronteira invertida, em AED, pode ser interpretado como uma avaliação pessimista das unidades produtivas, tendo o seu conceito introduzido por Yamada, Matui e Sugiyama (1994) e Entani, Maeda e Tanaka (2002). Posteriormente, o método foi adotado nos trabalhos de Lins, De Lyra Novaes e Legey (2005), Ângulo Meza et al (2005) e Soares de Mello *et al.* (2008).

Recentemente podem ser citados os seguintes trabalhos que adotaram a metodologia da fronteira invertida em análise envoltória de dados: Tavares e Ângulo Meza (2017), mediu a eficiência de cursos de graduação de uma instituição federal, Lima et al (2018), que analisou as ecoeficiências de assentamentos rurais, Fávero (2019), que analisou a eficiência de portos secos no Brasil, e Mendes, Teixeira e Ferreira (2021), analisou o desempenho dos gastos públicos na saúde em Minas Gerais.

Metodologia

Atualmente, o Estado do Ceará é composto por 12 bacias hidrográficas, a saber: Bacia Metropolitana, Bacia do Alto Jaguaribe, Bacia do Baixo Jaguaribe, Bacia do Médio Jaguaribe, Bacia do Acaraú, Bacia do Coreaú, Bacia do Banabuiú, Bacia do Curu, Bacia do Salgado, Bacia do Litoral, Bacia dos Sertões de Crateús e Bacia da Serra da Ibiapaba.

É importante destacar que até 2011 as bacias dos Sertões de Crateús e da Ibiapaba formavam a bacia do Parnaíba. Entretanto, os dados obtidos junto à COGERH à época para essas duas bacias ainda se encontravam juntos como bacia do Parnaíba. Dessa forma, a pesquisa considerou o Estado dividido em 11 (onze) bacias, a saber: Metropolitana, Salgado, Parnaíba, Curu, Alto Jaguaribe, Médio Jaguaribe, Baixo Jaguaribe, Coreaú, Litoral, Acaraú e Banabuiú.

Dessa forma, optou-se por considerar cada setor, entre os setores da indústria, do abastecimento e da irrigação, de cada bacia hidrográfica como uma unidade a ser avaliada. Assim, tem-se ao todo 33 (trinta e três) UTDs a serem avaliadas nesta pesquisa, conforme descritas no Quadro 1. Conforme o quadro percebe-se que cada coluna representa um dos setores de usuários de recursos hídricos analisados e cada linha representa a sua respectiva bacia hidrográfica.

Quadro 1. Unidades tomadoras de decisão.

UNIDADE TOMADORA DE DECISÃO – UTD		
Indústria	Abastecimento Público	Irrigação
UTD1 – Metropolitana	UTD2 – Metropolitana	UTD3 – Metropolitana
UTD4 – Curu	UTD5 – Curu	UTD6 – Curu
UTD7 – Alto Jaguaribe	UTD8 – Alto Jaguaribe	UTD9 – Alto Jaguaribe
UTD10 – Médio Jaguaribe	UTD11 – Médio Jaguaribe	UTD12 – Médio Jaguaribe
UTD13 – Baixo Jaguaribe	UTD14 – Baixo Jaguaribe	UTD15 – Baixo Jaguaribe
UTD16 – Salgado	UTD17 – Salgado	UTD18 – Salgado
UTD19 – Litoral	UTD20 – Litoral	UTD21 – Litoral
UTD22 – Acaraú	UTD23 – Acaraú	UTD24 – Acaraú
UTD25 – Coreaú	UTD26 – Coreaú	UTD27 – Coreaú
UTD28 - Parnaíba	UTD29 - Parnaíba	UTD30 – Parnaíba
UTD31 – Banabuiú	UTD32 – Banabuiú	UTD33 – Banabuiú

Fonte: Autoria própria.

Os dados desta pesquisa, obtidos junto aos órgãos ligados ao gerenciamento de recursos hídricos do Estado do Ceará, são referentes aos instrumentos da cobrança pela água bruta e da outorga pelo direito de uso da água, sendo usados para compor o conjunto de variáveis que avaliaram o desempenho relativo da cobrança nos setores de uso da indústria, do abastecimento público e da irrigação nas bacias cearenses.

Assim, pode-se afirmar que todas as variáveis, entre insumos e produtos, proposta nesta pesquisa tem relação direta ao instrumento de gestão das águas, especialmente os instrumentos da cobrança e da outorga pelo uso da água. Dessa forma, no Quadro 2 são descritas as variáveis propostas neste trabalho que serão usadas para determinar a eficiência relativa de cada UTD definida no Quadro 1.

Quadro 2. Insumos e produtos para avaliar as UTDs.

INSUMOS (dados de entrada)	
NTUC	Número total de usuários cadastrados
NUF	Número de usuários faturados
NUO	Número de usuários outorgados dentre os faturados
VTC	Volume total consumido ao ano, em m ³ /ano
VTO	Volume total outorgado ao ano, em m ³ /ano
DEHA	Demanda hídrica anual, m ³ /ano
DIHA	Disponibilidade hídrica anual, m ³ /ano
PRODUTOS (dados de saída)	
CFT	Cobrança faturada total durante o ano, em R\$/ano
CAT	Cobrança arrecadada total durante o ano, em R\$/ano

Fonte: Autoria própria.

Os valores dos fatores de avaliação propostos para cada UTD desta pesquisa foram obtidos junto à Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH) e à Secretaria dos Recursos Hídricos do Ceará (SRH). O relatório de cobrança, fornecido pela COGERH, refere-se a 12 meses, com início em maio de 2012 e término em abril de 2013. Já os relatórios das outorgas que foram emitidas, tanto para águas subterrâneas quanto para águas superficiais, referem-se de janeiro de 2012 até o mês de abril de 2013.

As informações referentes às demandas hídricas das principais categorias de uso (indústria, abastecimento público e irrigação) e a disponibilidade hídrica por bacia hidrográfica foram obtidos na SRH.

As UTDs analisadas neste estudo apresentam dados com tamanhos variados, então, com tendência a ter rendimentos de escalas variáveis. Assim, o método escolhido para aferir as eficiências será o modelo BCC, com uma orientação a produto.

Os modelos AED geralmente, proporcionam como resultado uma grande quantidade de UTDs eficientes. Mesmo assim, devido às propriedades matemáticas do modelo BCC, as unidades que apresentam o menor valor de um dos insumos ou o maior valor de um dos produtos são consideradas como eficientes, sendo apontadas como unidades falsamente eficientes.

Então, pode-se aplicar a metodologia da fronteira invertida de modo a identificar e eliminar as unidades eficientes que se apresentam com uma falsa eficiência. A fronteira invertida considera os produtos como insumos e os insumos como produto para cada unidade, e em seguida se resolve o modelo BCC da AED com uma orientação a insumo.

De acordo com Ângulo Meza *et al.* (2007), o método da fronteira invertida constrói um índice de eficiência composta, indicada por Ef_{Comp} , definido com a seguinte média aritmética dada por

$$Ef_{Comp} = \frac{Ef_{Conv} + (1 - Ef_{Inv})}{2} \quad \text{Equação (10)}$$

em que: Ef_{Conv} é a medida da eficiência em relação à fronteira AED convencional e Ef_{Inv} é o complemento da eficiência em relação à fronteira invertida.

Após o cálculo da eficiência composta por meio da equação (10), então, é feita a normalização desta eficiência, indicada por Ef_{Norm} , por meio da seguinte expressão

$$Ef_{Norm} = \frac{Ef_{Comp}}{Máx(Ef_{Comp})} \quad \text{Equação (11)}$$

Em que: $Máx(Ef_{Comp})$ é o valor maior valor de todas as medidas de eficiência composta de todas as UTDs.

Conforme Almeida, Mariano e Rebelatto (2007), para a perspectiva da fronteira invertida, a unidade mais eficiente será aquela que consegue produzir mais produtos consumindo poucos insumos, sem se destacar em nenhum especificamente.

A metodologia da fronteira invertida tem como objetivo excluir do grupo de UTDs, que foram classificadas inicialmente como eficientes pelos métodos convencionais de EAD, as unidades consideradas falsamente eficientes. O método também possibilita a ordenação das UTDs avaliadas de acordo com o valor da medida da eficiência composta normalizada

Resultados e discussão

Os dados utilizados nesta pesquisa são referentes ao ano de 2013 e foram obtidos junto à COGERH. É importante destacar que todos os cálculos de eficiência nesta pesquisa foram realizados com auxílio do Sistema Integrado de Apoio à Decisão – SIAD, que é uma ferramenta computacional descrita em Ângulo Meza *et al.* (2005).

Assim, o modelo AED-BCC com orientação a produto foi aplicado às 33 UTDs que representam o instrumento da cobrança pelo uso da água bruta na indústria, no abastecimento público e na irrigação de cada uma das onze bacias hidrográfica. Dessa forma, calculou-se a medida da eficiência relativa das 33 (trinta e três) UTDs.

Em seguida, foi aplicado o método da fronteira invertida como descrito na metodologia da pesquisa, para aprimorar a discriminação das UTDs analisadas, e assim, identificar a melhor unidade do conjunto.

Conforme os dados da Tabela 1, pode-se perceber que das 11 (onze) UTDs consideradas eficientes, ao todo 9 (nove) representam a cobrança pelo uso da água no setor industrial, a saber: UTD1 (Metropolitana), UTD7 (Alto Jaguaribe), UTD10 (Médio Jaguaribe), UTD13 (Baixo Jaguaribe), UTD19 (Litoral), UTD22 (Acaraú), UTD25 (Coreaú), UTD28 (Parnaíba), UTD31 (Banabuiú). Além dessas tem-se como unidades eficientes, a UTD2, que representa a cobrança do abastecimento público na bacia Metropolitana, e a UTD30, que representa a cobrança da irrigação na bacia do Parnaíba.

Em relação a medida da eficiência convencional das unidades analisadas, observa-se que as unidades mais eficientes representam o instrumento da cobrança pelo uso da água bruta nas bacias cearenses do setor da indústria. Conclui-se que em um contexto geral de todas as bacias do Estado, as UTDs que representam a cobrança pela água da indústria obtiveram melhores performances.

Agrupando as unidades de cada setor separadamente e calculando a média das medidas apresentadas na Tabela 1, pode-se apresentar a Tabela 2 com as medidas de eficiência média por cada setor usuário analisado na pesquisa.

Assim, pode-se afirmar que o instrumento da cobrança pela água do setor da indústria obteve a maior eficiência média, seguida pela cobrança do abastecimento público e por último a cobrança da irrigação. Um estudo mais detalhado pode revelar se existe alguma característica específica que justifique esse fato.

Observa-se, por meio da Tabela 3, que as unidades da indústria e do abastecimento obtiveram os maiores valores faturados (CFT) e arrecadados (CAT) com a cobrança pela água no período considerado, enquanto as unidades da irrigação apresentaram valores bem inferiores para essas variáveis.

Tabela 1. Medidas das eficiências.

UTD	Ef _{Conv}	Ef _{Inv}	Ef _{Comp}	Ef _{Norm}	Posição
UTD1	1.0000	1.0000	0.5000	0.5002	17 ^a
UTD2	1.0000	1.0000	0.5000	0.5002	17 ^a
UTD3	0.0771	0.2043	0.4364	0.4366	23 ^a
UTD4	0.7318	0.1768	0.7775	0.7778	6 ^a
UTD5	0.2549	0.0771	0.5889	0.5892	11 ^a
UTD6	0.0072	1.0000	0.0036	0.0036	30 ^a
UTD7	1.0000	0.9284	0.5358	0.5360	13 ^a
UTD8	0.3602	1.0000	0.1801	0.1802	26 ^a
UTD9	0.0071	1.0000	0.0035	0.0035	32 ^a
UTD10	1.0000	1.0000	0.5000	0.5002	17 ^a
UTD11	0.8679	1.0000	0.4340	0.4342	24 ^a
UTD12	0.3260	1.0000	0.1630	0.1631	27 ^a
UTD13	1.0000	0.4603	0.7699	0.7702	7 ^a
UTD14	0.2374	0.0942	0.5716	0.5719	12 ^a
UTD15	0.0476	0.9891	0.0292	0.0292	28 ^a
UTD16	0.4537	1.0000	0.2268	0.2269	25 ^a
UTD17	0.4936	0.2615	0.6160	0.6163	10 ^a
UTD18	0.0012	1.0000	0.0051	0.0051	29 ^a
UTD19	1.0000	0.0009	0.9995	1.0000	1 ^a
UTD20	0.7097	0.0519	0.8289	0.8293	5 ^a
UTD21	0.9978	1.0000	0.4989	0.4991	21 ^a
UTD22	1.0000	0.0528	0.9736	0.9740	2 ^a
UTD23	0.3057	0.2825	0.5116	0.5118	15 ^a
UTD24	0.0022	1.0000	0.0011	0.0011	33 ^a
UTD25	1.0000	0.0977	0.9611	0.9516	4 ^a
UTD26	0.1095	0.0880	0.5107	0.5110	16 ^a
UTD27	0.9611	1.0000	0.4806	0.4808	22 ^a
UTD28	1.0000	0.0544	0.9728	0.9732	3 ^a
UTD29	0.2931	0.0545	0.6193	0.6196	9 ^a
UTD30	1.0000	1.0000	0.5000	0.5002	17 ^a
UTD31	1.0000	0.9312	0.5344	0.5346	14 ^a
UTD32	0.4187	0.1619	0.6284	0.6287	8 ^a
UTD33	0.0072	1.0000	0.0036	0.0036	31 ^a

Fonte: Autoria própria.

Tabela 2. Medidas de eficiência média por setor usuário.

Setor usuário	Eficiência média
Indústria	0.9260
Abastecimento público	0.4592
Irrigação	0.3122

Fonte: Aatoria própria.

Tabela 3. Dados dos fatores de cada unidade tomadora de decisão.

UTD	NTUC	NUF	NUO	VCT (m ³ /ano)	VOT (m ³ /ano)	DEHA (m ³ /ano)	DIHA (m ³ /ano)	CFT (R\$/ano)	CAT (R\$/ano)
UTD1	188	121	63	21,201,494.13	55,789,465.63	7.99	20.62	29,866,171.45	29,325,593.75
UTD2	103	42	29	281,970,523.29	168,885,538.17	7.48	20.62	28,223,806.33	27,712,955.44
UTD3	90	48	6	17,302,943.33	3,875,277.43	0.74	20.62	175,603.94	172,425.51
UTD4	40	40	7	156,165.73	17,395.90	0.23	11.82	67,395.03	46,799.11
UTD5	30	14	13	9,038,515.89	8,400,609.74	0.31	11.82	296,192.18	205,675.85
UTD6	159	25	11	22,654,909.29	20,837,779.08	2.63	11.82	44,633.69	30,993.63
UTD7	24	19	9	25,577.26	56,272.05	0.11	21.74	11,038.14	6,168.11
UTD8	77	21	20	15,021,544.23	66,858,257.97	0.35	21.74	492,255.98	275,072.64
UTD9	75	25	10	2,655,018.85	2,242,953.73	0.45	21.74	10,248.18	5,726.68
UTD10	28	26	0	640,746.23	0.00	0.05	31.88	276,520.40	172,825.25
UTD11	48	17	7	13,583,183.74	2,160,509.40	0.13	31.88	445,120.96	278,200.60
UTD12	107	73	4	149,909,007.51	9,281,166.47	4.90	31.88	889,856.13	556,160.08
UTD13	103	87	22	149,486.77	29,064.50	0.21	1.55	64,512.40	43,010.42
UTD14	38	7	6	5,226,680.00	7,878,171.11	0.23	1.55	171,278.31	114,191.25
UTD15	155	12	5	21,055,233.12	5,285,521.51	1.72	1.55	43,252.74	28,836.60
UTD16	76	60	46	583,954.33	1,153,575.20	0.15	6.44	252,011.30	172,753.75
UTD17	86	32	21	48,047,543.68	22,256,012.08	0.85	6.44	1,574,518.07	1,079,332.14
UTD18	213	12	4	8,932,232.08	2,642,256.49	2.53	6.44	16,618.23	11,391.80
UTD19	8	3	1	205,910.00	150,211.53	0.15	1.15	302,187.35	293,031.07
UTD20	22	6	3	6,545,175.87	2,369,032.50	0.20	1.15	214,485.37	207,986.46
UTD21	15	3	2	513,646.44	218,111.74	0.02	1.15	410.28	397.85
UTD22	58	53	9	681,287.10	919,434.50	0.06	12.39	294,611.26	248,092.14
UTD23	71	35	11	39,020,086.73	37,092,185.73	1.10	12.39	1,278,688.19	1,076,783.33
UTD24	19	10	2	934,976.11	477,057.71	6.21	12.39	1,095.52	922.54
UTD25	15	12	0	75,389.47	0.00	0.02	3.22	32,535.06	14,458.58
UTD26	15	6	5	4,283,941.04	3,459,543.00	0.50	3.22	140,384.72	62,386.97
UTD27	4	1	1	49,027.00	2,075,700.63	0.09	3.22	23.83	10.59
UTD28	14	13	1	89,622.00	96,177.50	0.01	6.94	38,677.26	37,961.73
UTD29	27	11	6	16,190,356.62	7,029,251.10	0.52	6.94	530,558.01	520,742.69
UTD30	61	26	8	9,567,450.32	5,202,867.89	0.00	6.94	16,582.35	16,275.58
UTD31	16	11	0	25,305.22	0.00	0.23	21.66	10,920.71	8,008.16
UTD32	89	13	12	15,052,458.03	13,410,396.71	0.32	21.66	493,269.09	361,714.22
UTD33	162	87	23	15,407,150.77	6,549,775.50	8.75	21.66	26,996.31	19,796.39

Fonte: Aatoria própria.

Dessa forma, pode-se afirmar que, como o modelo AED-BCC aplicado para o cálculo das eficiências foi com uma orientação a produto, então, os valores das variáveis de produto CFT e CAT foram predominantes para a construção desse cenário de eficiência apresentada na Tabela 2.

Destaca-se o fato de que as tarifas cobradas pela água no setor industrial no Estado do Ceará são superiores as tarifas do abastecimento público e da irrigação. Assim, pode-se concluir que este fato é muito relevante pois os produtos (CFT e CAT) dependem direta ou indiretamente das tarifas cobradas nas bacias cearenses.

Um modelo AED-BCC sugere ainda metas a serem alcançadas nos fatores de cada UTD ineficiente, de modo que ela atinja um valor para a eficiência igual à unidade. É importante destacar que quanto menor o valor da medida de eficiência maiores serão os ajustes sugeridos para uma unidade ineficiente atingir a fronteira eficiente.

Basicamente, os ajustes em um modelo AED-BCC com orientação ao produto consistem em minimizar os insumos enquanto os produtos são maximizados. Muito importante ressaltar que a metodologia apenas sugere ajustes em cada variável de uma UTD ineficiente, porém não se pode afirmar que esses ajustes podem ser postos realmente em prática.

Em seguida, de modo a identificar, dentre as unidades consideradas eficientes, as UTDs que apresentam uma falsa eficiência aplicou-se a metodologia da fronteira invertida. Vale salientar que na metodologia da fronteira invertida, os insumos e produtos são invertidos, então se aplica o modelo AED-BCC com orientação a insumo.

Como visto, na Tabela 1 são apresentados os dados para determinar a eficiência composta normalizada, indicada por $E_{f_{Norm}}$, além da posição de cada UTD, conforme essa medida. Dessa forma, pode-se apresentar na Tabela 4 as 10 (dez) unidades mais eficientes conforme a eficiência normalizada. E que, dentre essas 10 (dez) unidades mais eficientes, destaca-se o fato de que 6 (seis) representam cobrança pela água bruta do setor da indústria e 4 (quatro) do setor do abastecimento público.

Pode-se ainda concluir, comparando as Tabelas 2 e 4, que das 10 (dez) UTDs mais bem posicionadas, com a medida da eficiência normalizada $E_{f_{Norm}}$, 5 (cinco) foram classificadas como eficientes (UTD19, UTD22, UTD28, UTD25 e UTD13) em relação à medida da eficiência convencional $E_{f_{Conv}}$.

A UTD19, cobrança do setor da indústria da bacia do Litoral, conforme a medida de $E_{f_{Norm}}$, que foi igual a unidade, é a unidade mais eficiente de todo o conjunto analisado, ocupando a 1ª posição do ranking. Vale destacar também as unidades UTD22, a cobrança do setor industrial da

bacia do Acaraú, e UTD28, a cobrança do setor industrial da bacia do Parnaíba, que ocupam a 2ª e a 3ª posições do ranking, respectivamente.

Tabela 4. As dez primeiras posições em relação a eficiência normalizada

Posição	UTD	Setor usuário	Bacia hidrográfica	Ef _{Norm}
1ª	UTD19	Indústria	Litoral	1.0000
2ª	UTD22	Indústria	Acaraú	0.9740
3ª	UTD28	Indústria	Parnaíba	0.9732
4ª	UTD25	Indústria	Coreaú	0.9518
5ª	UTD20	Abastecimento público	Litoral	0.8293
6ª	UTD4	Indústria	Curu	0.7778
7ª	UTD13	Indústria	Baixo Jaguaribe	0.7702
8ª	UTD32	Abastecimento público	Banabuiú	0.6287
9ª	UTD29	Abastecimento público	Parnaíba	0.6196
10ª	UTD17	Abastecimento público	Salgado	0.6163

Fonte: Autoria própria.

O método da fronteira invertida identifica que das 11 (onze) unidades classificadas inicialmente como eficientes, 10 (dez) apresentam uma falsa eficiência, passando a apresentar certo grau de ineficiência. Entretanto, 5 (cinco) delas mantêm uma medida de eficiência acima de 75%, enquanto as demais esta medida ficou abaixo dos 55%, como pode ser observado na Tabela 5.

Tabela 5. Posicionamento no ranking das UTDs classificadas como eficientes após a aplicação do método da fronteira invertida

Posição	UTD	Setor usuário	Bacia hidrográfica	Ef _{Norm}
1ª	UTD19	Indústria	Litoral	1.0000
2ª	UTD22	Indústria	Acaraú	0.9740
3ª	UTD28	Indústria	Parnaíba	0.9732
4ª	UTD25	Indústria	Coreaú	0.9518
7ª	UTD13	Indústria	Baixo Jaguaribe	0.7702
13ª	UTD7	Indústria	Alto Jaguaribe	0.5360
14ª	UTD31	Indústria	Banabuiú	0.5346
17ª	UTD1	Indústria	Metropolitana	0.5002
17ª	UTD2	Abastecimento público	Metropolitana	0.5002
17ª	UTD10	Indústria	Médio Jaguaribe	0.5002
17ª	UTD30	Irrigação	Parnaíba	0.5002

Fonte: Autoria própria.

A unidade UTD7, cobrança do setor da indústria do Alto Jaguaribe passa a ocupar a 13ª posição com o método da fronteira invertida, enquanto as unidades UTD1, cobrança da indústria da Metropolitana, UTD2, cobrança do abastecimento público da Metropolitana, UTD10, cobrança da indústria do Médio Jaguaribe, e UTD30, cobrança da irrigação do Parnaíba, passam a ocupar juntas a 17ª posição.

É importante destacar que as unidades UTD1 e UTD2, que representam, respectivamente, a cobrança da indústria e do abastecimento público da bacia metropolitana se apresentaram eficientes, principalmente, devido ao fato de que elas apresentam os maiores valores para as variáveis de produto, CFT e CAT.

Estatisticamente, pode-se considerar que os dados obtidos para as variáveis de produto das unidades UTD1 e UTD2, quando comparados com os dados das demais unidades, são pontos fora da curva. Dessa forma, é provável que a retirada dessas duas unidades não altere de forma significativa o resultado geral obtido na pesquisa.

Por fim, pode-se observar que as unidades que representam o instrumento cobrança do setor da indústria ocupam as primeiras posições do ranking, enquanto as unidades que representam a cobrança do setor da irrigação ocupam as últimas posições.

Conclusões

As categorias de uso industrial, abastecimento público e irrigação da água das 11 bacias hidrográficas do Estado do Ceará foram definidas como UTDs analisadas. E, em cada UTD, foram identificados como insumos o total de usuários cadastrados, faturados, outorgados dentre os faturados, o volume total consumido e outorgado ao ano (em m³/ano), a demanda hídrica anual, e ainda, a disponibilidade hídrica anual. Como variáveis de produtos, foram identificadas as cobranças faturada e arrecadada totais durante o ano, em R\$/ano.

A aplicação de AED para a cobrança pela água atingiu o objetivo que era obter um diagnóstico de todas as bacias hidrográficas do Estado, enquanto o método da fronteira invertida ordenou todas as UTDs analisadas.

No geral o panorama encontrado nesta pesquisa também foi confirmado nos trabalhos de Rodrigues, Aquino e Thomaz (2015) e Rodrigues et. al (2017), ou seja, as unidades referentes à cobrança do setor industrial nas bacias hidrográficas do Estado do Ceará se mostraram com resultados melhores do que as demais, enquanto a irrigação obteve os piores resultados.

Pode-se afirmar que o instrumento de cobrança pela água é um instrumento de gerenciamento de recursos hídricos vital para garantir o equilíbrio entre a oferta e a demanda de água nas bacias hidrográficas. Dessa forma, a AED pode ser aplicada para auxiliar gestores na avaliação desse equilíbrio, de modo que se tenha o uso racional da água e que os usuários tenham assegurados o seu direito ao acesso a água.

Por fim, como a pesquisa utilizou dados referentes a um período de 12 meses a mesma apresenta limitações. Logo, para obter um diagnóstico mais amplo recomenda-se que sejam utilizados dados referentes a um período de tempo maior.

Referências bibliográficas

- Almeida, M. R., Mariano, E. B., Rebelatto, D. A. N. (2007) Análise da eficiência dos aeroportos internacionais. *Revista Produção Online*, **7**, 1-17
- Ângulo Meza, L., Biodini Neto, L., Soares de Mello, J. C. C. B., Gomes, E. G. Sistema ISYDS (2005) Integrated System for Decision Support (SIAD – Sistema Integrado de Apoio à Decisão): A software package for data envelopment analysis model, *Pesquisa Operacional*, **25**(3), 493-503. Acesso em 05 de janeiro de 2021, disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/pope/v25n3/27835.pdf>
- Ângulo Meza, L., Soares de Mello, J. C. C. B., Gomes, E. G., Fernandes, A. J. S. (2007) Seleção de variáveis em DEA aplicada a uma análise do mercado de energia elétrica, *Investigação Operacional*, **27**, 21-36.
- Banker, R. D., Charnes, A., Cooper, W. W. (1984) Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, **30**(9), 1078-1092.
- Bayazid, Y., Umetsu, C., Hamasaki, H., Miyanishi, T. (2019) Measuring the efficiency of collective floodplain aquaculture of Bangladesh using Data Envelopment Analysis, *Aquaculture*, **503**, 537-549.
- Brito, M. C. L. D. de A., Aguiar, J. C. de. (2019) A cobrança pelo uso da água como instrumento de gestão de recursos hídricos, *Revista Direito Ambiental e Sociedade*, **9**(2), 61-90.
- Charnes, A., Cooper, W. W., Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units, *European Journal of Operational Research*, **2**(6), 429-444.
- Cherchye, L.; De Rock, B; Walheer, B. (2016) Multi-output profit efficiency and directional distance functions, *Omega*, **61**, 100-109.
- Demajorovic, J., Caruso, C., Jacobi, P. R. (2015) Cobrança do uso da água e comportamento dos usuários na bacia hidrográfica do Piracicaba, Capivari e Jundiá, *Revista de Administração Pública*, **49**(5).
- Dotoli, M., Epicoco, N., Falagario, M., Sciancalepore, F. A (2015) cross-efficiency fuzzy data envelopment analysis technique for performance evaluation of decision making units under uncertainty, *Computers & Industrial Engineering*, **79**, 103-114.
- Entani, T., Maeda, Y., Tanaka, H. (2002) Dual models of interval DEA and its extensions to interval data. *European Journal of Operational Research*, **136**, 32-45.
- Fávero, P. B. (2019) Avaliação da eficiência dos portos secos brasileiros utilizando DEA. *Revista Produção & Engenharias*, **9**(1), 696-711.
- Geng, Q., Ren, Q., Nolan, R. H., Wu, P., Yu, Q. , (2019) Assessing China's agricultural water use efficiency in a green-blue water perspective: A study based on data envelopment analysis. *Ecological Indicators*, **96**, 329-335.
- Honglan, L., Ruyun, Y., Xiaona, Q. (2014) Productivity analysis and benchmark selection of X mining company by DEA, *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, **6**(4), 162-168.

- Lima, V. A. M. O., Souza, C. C. de; Reis Neto, J. F., Frainer, D. M. (2018) Análises das eficiências ambiental, econômica e social de assentamentos rurais em Mato Grosso do Sul (MS) através de Análise Envoltória de Dados (DEA). *Revista Ibero-Americana*, **9**(4), 41-55.
- Lins, M. P. E., De Lyra Novaes, L. F., Legey, L. F. L. (2005) Real estate appraisal: A double perspective data envelopment analysis approach. *Annals of Operations Research*, **138**(1), 79-96.
- Macedo, E. L., Jamil, G. L. (2019) Aplicação da Análise Envoltória de Dados para a avaliação de processos finalísticos de empresas de um mesmo segmento, *Brazilian Journal of Development*, **5**(4), 2692-2713.
- Mendes, W. de A., Teixeira, K. M. D., Ferreira, M. A. M. (2021) Os investimentos em saúde pública: Uma avaliação do desempenho dos gastos públicos em Minas Gerais. *Enfoque: Reflexão Contábil*, **40**(1), 88-105.
- Mirdehghan, S. M., Fukuyama, H. (2016) Pareto-Koopmans efficiency and network DEA, *Omega*, **61**, 78-88.
- Ostrensky, V. P., Garcia, J. R. (2017) A cobrança pelo uso da água na região metropolitana de Curitiba: Uma análise dos impactos econômicos no setor industrial, *Revista FAE*, **(2)**, 7-20.
- Park, J., Yoo, S. K., Lee, J. S., Kim, J., Kim, J. J. (2015) Comparing the efficiency and productivity of construction firms in China, Japan and Korea using DEA and DEA based malmquist, *Journal of Asian Architectures and Building Engineering*, **14**(1), 57-64.
- Pereira, E. R., Soares De Mello, J. C. C. B. (2015) Uso da suavização da fronteira na determinação de pesos únicos em modelos DEA CCR, *Production*, **25**(3), 585-597.
- Pradhan, A. K., Kamble, A. A. (2015) Efficiency measurement and benchmarking: An application of data envelopment analysis to select multi brand retail firms in Índia, *Journal of Commerce & Management Thought*, **6**(2), 258-272.
- Rodrigues, M. V. S., Aquino, M. D. de. (2014) Análise comparativa entre a cobrança pelo uso da água bruta do Estado do Ceará com a cobrança aplicada no Estado de São Paulo, *Revista de Gestão de Águas da América Latina (REGA)*, **11**(2), 37-51.
- Rodrigues, M. V. S., Aquino, M. D. De, Thomaz, A. C. F. (2015) Análise por envoltória de dados utilizada para medir o desempenho relativo da cobrança pelo uso da água nas bacias hidrográficas do estado do Ceará, *Revista de Gestão de Águas da América Latina (REGA)*, **12**(1), 15-29.
- Rodrigues, M. V. S., Aquino, M. D. De, Thomaz, A. C. F., PEREIRA, R. F. (2017) Multicriteria method in data envelopment analysis: An application to measure the performance of the instrument of charging for water in the State of Ceará basins, *Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH)*, **22**(8).
- Silveira, J. Q. da; Ângulo Meza, L., Soares de Mello, J. C. C. B. (2012) Identificação de benchmarks e anti-benchmarks para companhias aéreas usando modelo DEA e fronteira invertida. *Produção*, **22**(4), 788-795.
- Soares de Mello, J. C. C. B., Gomes, E. G., Ângulo Meza, L., Leta, F. R. DEA advanced models for geometrie evaluation of used lathes. *Wseas Transactions on Systems*, **5**, v. 7, 2008.
- Song, C. X., Le, M. J., Zhang, F., He, Y. L., Tao, W. (2015) A data envelopment analysis for energy efficiency of coal-fired power units in China. *Energy Conversion and Management*, **102**, 121-130.
- Tavares, R. S., Ângulo Meza, L. (2017) Uso da análise envoltória de dados para avaliação da eficiência em cursos de graduação: Um estudo de caso em uma Instituição de Ensino Superior brasileiro. *Revista Espacios*, **38**(20), 17-31.
- Trevisan, M. L., Silveira, G. L. da, Cruz, J. C., Cruz, R. C. (2011) Sensibilidade de fatores para valoração do ambiente com o uso de avaliação multicritério e geoprocessamento digital, *Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH)*, **16**(2), 39-48.
- Wang, S., Zhou, L., Wang, H., Li, X. (2018) Water use efficiency and its influencing factors in China: Based on the Data Envelopment Analysis (DEA) – Tobit model, *Water*, **10**(7) 832-848.
- Yamada, Y., Matui, T., Sugiyama, M. (1994) New analysis of efficiency based on DEA. *Journal of the Operations Research Society of Japan*, **37**, 158-67.
- Zhu, Q., Wu, J., Song, M. (2018) Efficiency evaluation based on data envelopment analysis in the big data context, *Computers and Operations Research*, **98**, 291-300.