



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

MARCUS VINÍCIUS SOUSA RODRIGUES

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA COBRANÇA DA ÁGUA BRUTA POR
CATEGORIA DE USO NAS BACIAS DO ESTADO DO CEARÁ UTILIZANDO A
ANÁLISE POR ENVOLTÓRIA DE DADOS**

FORTALEZA

2014

MARCUS VINÍCIUS SOUSA RODRIGUES

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA COBRANÇA DA ÁGUA BRUTA POR
CATEGORIA DE USO NAS BACIAS DO ESTADO DO CEARÁ UTILIZANDO A
ANÁLISE POR ENVOLTÓRIA DE DADOS

Tese apresentada ao Curso de Doutorado em Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil. Área de concentração: Recursos Hídricos.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Marisete Dantas de Aquino

Co-orientador: Prof. Dr. Antônio Clécio Fontelles Thomaz

FORTALEZA

2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Pós-Graduação em Engenharia - BPGE

-
- R614a Rodrigues, Marcus Vinícius Sousa Rodrigues.
Avaliação do desempenho da cobrança da água bruta por categoria de uso nas bacias do Estado do Ceará utilizando a análise por envoltória de dados / Marcus Vinícius Sousa Rodrigues. – 2014.
174 f. : il. color., enc. ; 30 cm.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Fortaleza, 2014.
Área de Concentração: Recursos Hídricos.
Orientação: Profa. Dra. Marisete Dantas de Aquino.
Coorientação: Prof. Dr. Antônio Clécio Fontelles Thomaz.
1. Recursos hídricos. 2. Água – Uso - Gerenciamento. 3. Análise multicritério. I. Título.

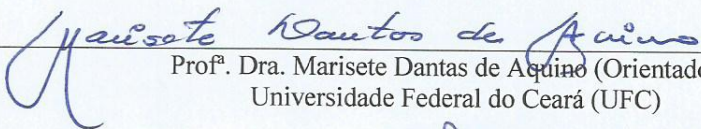
MARCUS VINÍCIUS SOUSA RODRIGUES

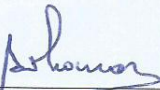
AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA COBRANÇA DA ÁGUA BRUTA POR
CATEGORIA DE USO NAS BACIAS DO ESTADO DO CEARÁ UTILIZANDO A
ANÁLISE POR ENVOLTÓRIA DE DADOS


Tese apresentada ao Doutorado em Engenharia
Civil do Departamento de Engenharia
Hidráulica e Ambiental da Universidade
Federal do Ceará, como parte dos requisitos
para obtenção do título de Doutor em
Engenharia Civil. Área de concentração:
Recursos Hídricos.

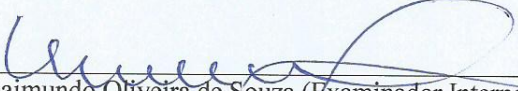
Aprovado em: 19/08/2014

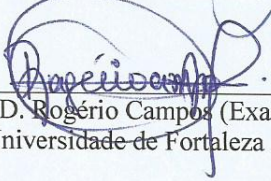
BANCA EXAMINADORA

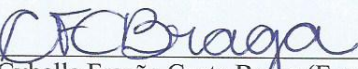

Prof.^a Dra. Marisete Dantas de Aquino (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

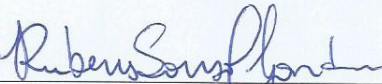

Prof. Dr. Antônio Clécio Fontelles Thomaz (Co-orientador)
Universidade Estadual do Ceará (UECE)


Prof. Dr. Iran Eduardo Lima Neto (Examinador Interno)
Universidade Federal do Ceará (UFC)


Prof. Dr. Raimundo Oliveira de Souza (Examinador Interno)
Universidade Federal do Ceará (UFC)


Prof. PhD. Rogério Campos (Examinador Externo)
Universidade de Fortaleza (UNIFOR)


Prof.^a Dra. Cybelle Frazão Costa Braga (Examinadora Externa)
Instituto Federal da Paraíba (IFPB)


Prof. Dr. Rubens Sonsol Gondim (Examinador Externo)
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa)

Dedico este trabalho à minha esposa, Ana Luzia Silveira Rodrigues, por nunca ter duvidado da minha capacidade, e à minha filha, Ana Eloísa Silveira Rodrigues, pelo simples fato de ter vindo ao mundo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer à minha esposa, Ana Luzia Silveira Rodrigues, que sempre esteve presente nos momentos difíceis, de desmotivação e de desespero, sempre buscando me motivar e mostrando que eu era capaz de concluir esse curso de Doutorado.

Também gostaria de agradecer, esse presente em minha vida, que representou a chegada de nossa filhinha, Ana Eloísa Silveira Rodrigues, um motivo a mais para conclusão deste Trabalho.

Agradeço também, aos meus pais, Antônio Veras Rodrigues e Maria do Socorro Sousa Rodrigues, pela força, motivação e incentivos durante a realização desta Pesquisa.

Um agradecimento a todos meus irmãos e irmãs: Ana Kelly Sousa Rodrigues, Antônio Veras Rodrigues Júnior, Cláudia Maria Sousa Rodrigues, Maria da Consolação Sousa Rodrigues e Sílvia Carla Sousa Rodrigues, pelo apoio e torcida durante o meu curso de Doutorado.

Um agradecimento aos meus sobrinhos e sobrinhas: Maria Júlia Barros Rodrigues, Guilherme Rodrigues de Cerqueira, Matheus Barros Rodrigues, Sofia Rodrigues Santiago, Gabriel Rodrigues de Cerqueira, Maria Eduarda Rocha Rodrigues e Anna Lívia Rocha Rodrigues, pelo apoio e torcida durante a realização deste Trabalho.

Um agradecimento todo especial a Professora Marisete Dantas de Aquino, minha orientadora e amiga, pelo apoio, pelos ensinamentos, pelos conselhos úteis e pela ajuda na elaboração desta Tese.

Também gostaria de prestar um agradecimento especial ao Professor Antônio Clécio Fontelles Thomaz, meu co-orientador, pela ajuda na elaboração deste Trabalho de Doutorado e por ter se mostrado sempre disponível quando as dúvidas surgiam.

Gostaria também de agradecer a Professora Cybelle Frazão Costa Braga e aos Professores Iran Eduardo Lima Neto, Rogério Campos e Rubens Sonsol Gondim pelas contribuições sugeridas que objetivaram uma melhor qualidade deste Trabalho.

Um agradecimento também, aos Professores e Professoras do Departamento de Engenharia Hidráulica e Saneamento Ambiental da UFC, pelos conhecimentos transmitidos, pela ajuda e torcida durante a realização deste curso de Doutorado.

Um agradecimento à Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará – COGERH e a todos os técnicos que me ajudaram, esclarecendo minhas dúvidas e fornecendo dados, de forma que fosse possível a elaboração de minha Tese.

Um agradecimento especial a Marcílio Caetano e Pedro Gonçalves, do setor de Gerência Comercial da COGERH, por toda ajuda, pelos ensinamentos e por se mostrarem sempre dispostos a contribuir para a elaboração desta Tese.

Gostaria de agradecer também à Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA pelo apoio na conclusão desse meu curso de Doutorado.

Quero agradecer também a todos os professores do Departamento de Ciências Exatas, Tecnológicas e Humanas – DCETH, Campus Angicos, da UFERSA pela torcida e apoio na elaboração desta Tese.

Um agradecimento aos amigos desse curso de pós-graduação Walder Adriano Gomes de Matos e Danilo Max por toda torcida e apoio durante a realização deste curso de Doutorado.

Gostaria agradecer a minha amiga Clarissa de Maria Thomáz Teixeira e aos amigos Dimitri Gomes Le Sueur, Ricardo Lorenzo Lima Bonfim e Roger Holanda de Freitas por toda torcida, motivação e apoio na realização deste Trabalho.

RESUMO

A escassez de recursos hídricos pode causar sérios conflitos de interesse devido aos seus múltiplos usos. A gestão dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica é a forma mais segura de garantir esses usos múltiplos, por meio da adoção de instrumentos, tais como a cobrança pelo uso da água. A cobrança tem sido implementada de uma forma muito lenta no Brasil, mesmo tendo o respaldo na Lei nº 9.433/97 e nas Políticas Estaduais de Recursos Hídricos. A cobrança pelo uso da água bruta no Ceará teve início em 1996, tendo a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará (COGERH), como o órgão responsável pelo seu cálculo e sua efetivação. Até a presente data nenhum trabalho foi feito com o intuito de avaliar o desempenho desse instrumento por categoria de uso nas bacias hidrográficas do Estado do Ceará. O objetivo principal deste trabalho de doutorado é propor uma metodologia inovadora, por meio da análise por envoltória de dados, que avalie o desempenho do instrumento da cobrança pelo uso da água bruta aplicada as principais categorias de uso (indústria, abastecimento público e irrigação) nas bacias hidrográficas do Estado do Ceará. O modelo proposto para a análise do desempenho foi composto por seis fatores (sendo quatro insumos e dois produtos) e o método usado foi a análise por envoltória de dados (AED), com retornos de escala variáveis e com orientação a produto, utilizando como ferramenta computacional o software DEA-Solver, professional version 7.0. Ao todo foram analisadas 33 unidades de todas as bacias hidrográficas cearenses. Dessas unidades, treze foram classificadas como eficientes e conseqüentemente vinte foram classificadas como ineficientes. A cobrança do conjunto apresentou uma eficiência média de aproximadamente 64,80%. A cobrança que se mostrou mais eficiência em todo o Estado foi a da indústria, com uma eficiência média de aproximadamente 97,97%, seguido da cobrança do abastecimento público com uma eficiência média de aproximadamente 68,17%. A cobrança mais ineficiente em todo o Estado foi a irrigação, com uma medida de eficiência média igual a aproximadamente 28,25%. Ao todo oito unidades da irrigação se apresentaram com baixíssimas eficiências, com medidas abaixo de 6,5%. Dentre os fatores usados para análise se destacam os insumos, percentual de usuários não outorgados (PUO) e a taxa de balanço hídrico (TBH), e os produtos, a taxa de faturamento por volume consumido (TFVC) e o faturamento médio (FM). Em relação aos fatores propostos neste trabalho, podem-se observar usuários de recursos hídricos que se apresentam em desacordo com as legislações vigentes no Estado em relação aos recursos hídricos, como usuários faturados que não possuem outorgas ou usuários que apresentam consumos superiores as suas outorgas.

Palavras-chave: Cobrança pelo Uso da Água, Instrumento de Gestão, Análise Multicriterial.

ABSTRACT

The scarcity of water resources may cause serious conflicts of interest due to its multiple uses. The management of water resources in a watershed is the safest way to ensure these multiple uses, through the adoption of instruments, such as charging for water use. The charging has been implemented very slowly in Brazil, even though the trust of the Law 9.433/97 and State Policies on Water Resources. The charging for the use of raw water in Ceará began in 1996 and being the Water Resources Management Company of Ceará - COGERH, the agency responsible for its calculation and its implementation. No work has been done in order to evaluate the performance of this instrument by category of use in the watersheds of the State of Ceará to date. The main objective of this doctoral work is to propose a methodology through data envelopment analysis, which evaluates the performance of the instrument of charging for the use of raw water applied to the main use categories (industrial, public supply and irrigation) in the river basins of Ceará. The proposed model for the performance analysis was composed of six variables (including four inputs and two products) and the method used was the DEA-BCC, with variable scale returns and output orientation, using the DEA-Solver software, professional version 7.0, as computational tool. Altogether 33 units from all basins of Ceará were analyzed, among them thirteen units were classified as efficient and twenty were classified as ineffective. The charging of the set of units showed an average efficiency of approximately 64.80%. The charging that showed more efficiently throughout the state was the industry's with an average efficiency of about 97.97%, followed by the public supply's with an average efficiency of approximately 68.17%. The irrigation one was the most inefficient, with an efficiency average equals to approximately 28.25%. Altogether eight units of irrigation presented very low efficiencies, measurements below 6.5%. Among the factors used for analysis, one can highlight the inputs, namely, the index of granted users and index of water balance, and the products, namely, the billing index for volume consumed and the average billing rate. In relation to the factors proposed in this work, one can observe users of water resources who are in disagreement with the laws in force in the State concerning the water resources, such as billed users without grants or users who have intakes higher than their grants.

Keywords: Charging for Water Use, Management Tool, Multicriteria Analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Metodologias para valoração da água baseadas em modelos de otimização	34
Figura 2.2 – Pirâmide de informações	45
Figura 2.3 – Retornos de escala: (a) Retorno constante; (b) Retorno não crescente; (c) Retorno não decrescente; (d) Retorno variável	48
Figura 2.4 – Curva de um processo produtivo	49
Figura 2.5 – Orientação a insumo e a produto da unidade produtiva P	51
Figura 2.6 – Elementos da UTD	52
Figura 2.7 – Fronteira de eficiência	54
Figura 2.8 – Classificação dos modelos AED	56
Figura 2.9 – Medida de eficiência do modelo CCR	62
Figura 2.10 – Fronteira convexa de eficiência do modelo BCC	64
Figura 2.11 – Região convexa e não-convexa	65
Figura 2.12 – Medida de eficiência do modelo BCC	67
Figura 2.13 – Comparação entre os modelos CCR e BCC	68
Figura 3.1 – Mapa dos CBHs do Estado do Ceará	72
Figura 3.2 – Percentual da área de cada bacia hidrográfica cearense em relação ao Estado do Ceará	73
Figura 3.3 – Usuários outorgados e faturados	78
Figura 3.4 – Descrição dos modelos e modelagem de AED	92

Figura 3.5 – Modelo BCC orientado a produto	95
Figura 3.6 – Entrada de dados e saída de relatórios de um <i>software</i> AED	97
Figura 4.1 – Interface inicial do DEA-Solver	100
Figura 4.2 – Fluxograma das etapas do método I-O exaustivo completo	120
Figura 4.3 – Eficiência das UTDs da indústria	131
Figura 4.4 – Eficiência das UTDs do abastecimento público	132
Figura 4.5 – Eficiência das UTDs da irrigação	133
Figura 4.6 – Frequência do conjunto de referência	139
Figura A.1 – Percentual de volume consumido por categoria de uso no Estado do Ceará	163
Figura A.2 – Percentual de faturamento com a cobrança por categoria de uso no Estado do Ceará	164
Figura B.1 – Percentual dos volumes outorgados de corpos superficiais por categoria de uso no Estado do Ceará	173
Figura B.2 – Percentual dos volumes outorgados de corpos subterrâneos por categoria de uso no Estado do Ceará	173

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Tarifa pelo uso dos recursos hídricos no Estado do Ceará	41
Tabela 3.1 – Comitês de bacia hidrográficas criados no Estado do Ceará	73
Tabela 3.2 – Disponibilidade hídrica nas bacias hidrográficas do Estado do Ceará	75
Tabela 3.3 – Demanda hídrica por categoria de uso nas bacias hidrográficas do Estado do Ceará	75
Tabela 3.4 – Descrição dos insumos sugeridos para o modelo	99
Tabela 3.5 – Descrição dos produtos sugeridos para o modelo	99
Tabela 4.1 – Determinação do Percentual de Usuários não Faturados (PUF) para cada UTD	102
Tabela 4.2 – Determinação do Percentual de Usuários não Outorgados (PUO) para cada UTD	104
Tabela 4.3 – Determinação do Volume Médio Consumido (VMC) para cada UTD	106
Tabela 4.4 – Determinação do Percentual de Usuários com Consumo não Aceitável (PCA) para cada UTD	108
Tabela 4.5 – Determinação da Taxa de Consumo por Outorga (TCO) para cada UTD	110
Tabela 4.6 – Determinação da Taxa de Balanço Hídrico (TBH) para cada UTD	112
Tabela 4.7 – Determinação da Taxa de Faturamento por Volume Consumido (TFVC) para cada UTD	114
Tabela 4.8 – Determinação do Faturamento Médio (FM) para cada UTD	116
Tabela 4.9 – Determinação da Arrecadação Média (TMA) para cada UTD	117

Tabela 4.10 – Eficiência média do conjunto de UTDs e a quantidade de UTDs eficientes das combinações possíveis da Etapa 1	121
Tabela 4.11 – Eficiência média do conjunto de UTDs e a quantidade de UTDs eficientes das combinações possíveis da Etapa 2	123
Tabela 4.12 – Eficiência média do conjunto de UTDs e a quantidade de UTDs eficientes das combinações possíveis da Etapa 3	124
Tabela 4.13 – Eficiência média do conjunto de UTDs e a quantidade de UTDs eficientes das combinações possíveis da Etapa 4	125
Tabela 4.14 – Eficiência média do conjunto de UTDs e a quantidade de UTDs eficientes das combinações possíveis da Etapa 5	126
Tabela 4.15 – Eficiência média do conjunto de UTDs e a quantidade de UTDs eficientes das combinações possíveis da Etapa 6	128
Tabela 4.16 – Posicionamento das UTDs em função da medida de sua eficiência	130
Tabela 4.17 – Eficiência média por categoria de uso	134
Tabela 4.18 – UTDs quase eficientes e seus modelos de referência	136
Tabela 4.19 – UTDs pouco eficientes e seus modelos de referência	137
Tabela 4.20 – UTDs muito ineficientes e seus modelos de referência	138
Tabela 4.21 – Principais medidas estatísticas das variáveis (fatores) do modelo	146
Tabela A.1 – Consumo e faturamento com a cobrança pelo uso da água por setor usuário na bacia hidrográfica Metropolitana	158
Tabela A.2 – Consumo e faturamento com a cobrança pelo uso da água por setor usuário na bacia hidrográfica do Curu	158

Tabela A.3 – Consumo e faturamento com a cobrança pelo uso da água por setor usuário na bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe	159
Tabela A.4 – Consumo e faturamento com a cobrança pelo uso da água por setor usuário na bacia hidrográfica do Médio Jaguaribe	159
Tabela A.5 – Consumo e faturamento com a cobrança pelo uso da água por setor usuário na bacia hidrográfica do Baixo Jaguaribe	159
Tabela A.6 – Consumo e faturamento com a cobrança pelo uso da água por setor usuário na bacia hidrográfica do Salgado	160
Tabela A.7 – Consumo e faturamento com a cobrança pelo uso da água por setor usuário na bacia hidrográfica do Litoral	160
Tabela A.8 – Consumo e faturamento com a cobrança pelo uso da água por setor usuário na bacia hidrográfica do Acaraú	160
Tabela A.9 – Consumo e faturamento com a cobrança pelo uso da água por setor usuário na bacia hidrográfica do Coreau	161
Tabela A.10 – Consumo e faturamento com a cobrança pelo uso da água por setor usuário na bacia hidrográfica do Parnaíba	161
Tabela A.11 – Consumo e faturamento com a cobrança pelo uso da água por setor usuário na bacia hidrográfica do Banabuiú	161
Tabela A.12 – Consumo e faturamento com a cobrança por bacia hidrográfica no Estado do Ceará	162
Tabela A.13 – Consumo e faturamento com a cobrança por setor usuários no Estado do Ceará	162

Tabela B.1 – Quantidade de outorgas emitidas e o volume total outorgado por categoria de uso, tanto superficial como subterrânea, na bacia hidrográfica Metropolitana	165
Tabela B.2 – Quantidade de outorgas emitidas e o volume total outorgado por categoria de uso, tanto superficial como subterrânea, na bacia hidrográfica do Curu	166
Tabela B.3 – Quantidade de outorgas emitidas e o volume total outorgado por categoria de uso, tanto superficial como subterrânea, na bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe	166
Tabela B.4 – Quantidade de outorgas emitidas e o volume total outorgado por categoria de uso, tanto superficial como subterrânea, na bacia hidrográfica do Médio Jaguaribe	167
Tabela B.5 – Quantidade de outorgas emitidas e o volume total outorgado por categoria de uso, tanto superficial como subterrânea, na bacia hidrográfica do Baixo Jaguaribe	167
Tabela B.6 – Quantidade de outorgas emitidas e o volume total outorgado por categoria de uso, tanto superficial como subterrânea, na bacia hidrográfica do Salgado	168
Tabela B.7 – Quantidade de outorgas emitidas e o volume total outorgado por categoria de uso, tanto superficial como subterrânea, na bacia hidrográfica do Litoral	168
Tabela B.8 – Quantidade de outorgas emitidas e o volume total outorgado por categoria de uso, tanto superficial como subterrânea, na bacia hidrográfica do Acaraú	169
Tabela B.9 – Quantidade de outorgas emitidas e o volume total outorgado por categoria de uso, tanto superficial como subterrânea, na bacia hidrográfica do Coreaú	169
Tabela B.10 – Quantidade de outorgas emitidas e o volume total outorgado por categoria de uso, tanto superficial como subterrânea, na bacia hidrográfica do Parnaíba	170
Tabela B.11 – Quantidade de outorgas emitidas e o volume total outorgado por categoria de uso, tanto superficial como subterrânea, na bacia	

hidrográfica do Banabuiú	170
Tabela B.12 – Quantidade de outorgas emitidas e o volume total outorgado, tanto superficial como subterrânea, por bacia hidrográfica do Estado do Ceará	171
Tabela B.13 – Quantidade de outorgas emitidas e o volume total outorgado, tanto superficial como subterrânea, por categoria de uso do Estado do Ceará	172

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Mecanismos para definição dos valores a serem cobrados pelo uso dos recursos hídricos	31
Quadro 2.2 – Comparativo entre os modelos matemáticos AED	70
Quadro 3.1 – Descrição das UTDs do modelo proposto	93
Quadro 4.1 – Fatores (insumos e produtos) sugeridos para o modelo	120
Quadro 4.2 – Fatores (insumos e produtos) selecionados para o modelo final	128
Quadro 4.3 – Descrição das UTDs eficientes por categoria de uso	131
Quadro 4.4 – Divisão das UTDs ineficientes por categoria de acordo com as suas medidas de eficiência relativa	135
Quadro 4.5 - Projeção a ser alcançada pelos fatores de cada UTD quase eficiente para torná-las eficientes	141
Quadro 4.6 - Projeção a ser alcançada pelos fatores de cada UTD pouco eficiente para torná-las eficientes	142
Quadro 4.7 - Projeção a ser alcançada pelos fatores de cada UTD muito ineficiente para torná-las eficientes	144
Quadro 4.8 – Correlação entre as variáveis (fatores) do modelo	147
Quadro A.1 – Tarifa pelo uso dos recursos hídricos no Estado do Ceará	157

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AED	Análise por Envoltória de Dados
ANA	Agência Nacional de Águas
BCC	Banker, Charnes e Cooper
CBH	Comitê de Bacia Hidrográfica
CCR	Charnes, Cooper e Rhodes
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
COGERH	Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CONERH	Conselho do Estado do Ceará de Recursos Hídricos
CRS	<i>Constant Returns to Scale</i>
DEA	<i>Data Envelopment Analysis</i>
DHL	Disponibilidade Hídrica Local
DMU	<i>Decision Making Units</i>
FUNERH	Fundo do Estado do Ceará de Recursos Hídricos
MMA	Ministério do Meio Ambiente
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PERH	Política do Estado do Ceará de Recursos Hídricos
PLANERH	Plano do Estado do Ceará de Recursos Hídricos
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
RMF	Região Metropolitana de Fortaleza
SIGERH	Sistema Integrado de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará
SINGRH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SOHIDRA	Superintendência de Obras Hidráulicas do Estado do Ceará
SRH	Secretaria do Estado do Ceará de Recursos Hídricos
UTD	Unidade Tomadora de Decisão
VRS	<i>Variable Returns to Scale</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	21
1.1 Objetivos	24
1.1.1 <i>Objetivo geral</i>	24
1.1.2 <i>Objetivos específicos</i>	24
1.2 Estruturação da tese	25
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
2.1 A cobrança pelo uso da água e sua estrutura	28
2.1.1 <i>A cobrança pelo uso da água</i>	28
2.1.2 <i>Estrutura básica da cobrança pelo uso da água</i>	32
2.1.2.1 <i>Base de cálculo</i>	32
2.1.2.2 <i>Preço unitário</i>	32
2.1.2.3 <i>Coefficientes ponderadores</i>	35
2.2 A cobrança pelo uso da água no Estado do Ceará	36
2.2.1 <i>O instrumento da cobrança no Estado do Ceará</i>	36
2.2.2 <i>Metodologia adotada nas bacias cearenses</i>	38
2.3 Análise por envoltória de dados	42
2.3.1 <i>Análise multicritério</i>	42
2.3.2 <i>Produtividade e eficiência</i>	45
2.3.3 <i>Introdução ao DEA</i>	51

2.3.3.1 <i>Modelo CCR</i>	56
2.3.3.2 <i>Modelo BCC</i>	64
3 METODOLOGIA	71
3.1 Área de estudo	71
3.2 Critérios de avaliação	76
3.2.1 <i>Usuários faturados e não faturados</i>	77
3.2.2 <i>Usuários outorgados e não outorgados</i>	79
3.2.3 <i>Volume total consumido por usuário</i>	81
3.2.4 <i>Usuários com consumo não aceitável</i>	82
3.2.5 <i>Relação entre o volume outorgado e o volume consumido</i>	84
3.2.6 <i>Balanço entre disponibilidade x demanda hídrica</i>	85
3.2.7 <i>Relação entre o faturamento e o consumo</i>	87
3.2.8 <i>Faturamento total por usuário</i>	88
3.2.9 <i>Arrecadação total por usuário</i>	89
3.3 Metodologia de análise por envoltória de dados	90
3.3.1 <i>Unidades tomadoras de decisão</i>	92
3.3.2 <i>Modelo AED sugerido</i>	94
3.3.2.1 <i>Modelo BCC – orientado a produto</i>	95
3.3.3 <i>Insumos e produtos do modelo</i>	98
4 SIMULAÇÕES E RESULTADOS	100

4.1 Dados da pesquisa	101
4.2 Fatores de avaliação (insumos e produtos) sugeridos para o modelo	101
4.2.1 <i>Percentual de Usuários não Faturados (insumo)</i>	101
4.2.2 <i>Percentual de Usuários não Outorgados (insumo)</i>	104
4.2.3 <i>Volume Médio Consumido (insumo)</i>	106
4.2.4 <i>Percentual de Usuários com Consumo não Aceitável (insumo)</i>	107
4.2.5 <i>Taxa de Consumo por Outorga (insumo)</i>	110
4.2.6 <i>Taxa de Balanço Hídrico (insumo)</i>	112
4.2.7 <i>Taxa de Faturamento por Volume Consumido (produto)</i>	113
4.2.8 <i>Faturamento Médio (produto)</i>	115
4.2.9 <i>Arrecadação Média (produto)</i>	117
4.3 Seleção de fatores	118
4.3.1 <i>Método I-O stepwise exaustivo completo</i>	120
4.3.1.1 <i>Primeira etapa</i>	121
4.3.1.2 <i>Segunda etapa</i>	122
4.3.1.3 <i>Terceira etapa</i>	124
4.3.1.4 <i>Quarta etapa</i>	125
4.3.1.5 <i>Quinta etapa</i>	126
4.3.1.6 <i>Sexta etapa</i>	127
4.3.2 <i>Modelo final</i>	128

4.4 Aplicação do modelo final	129
4.4.1 <i>Análise de eficiência do conjunto de UTDs</i>	129
4.4.2 <i>Conjunto de referência das UTDs ineficientes</i>	134
4.4.3 <i>Projeção a ser alcançada pelas UTDs ineficientes</i>	140
4.4.4 <i>Análise de correlação entre os fatores</i>	146
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	148
REFERÊNCIAS	151
APÊNDICE A	157
APÊNDICE B	165

1 – INTRODUÇÃO

O sistema de gerenciamento dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas do Brasil foi concebido e influenciado pela crescente escassez e os conflitos provocados pelos múltiplos usos da água, percebidos principalmente nas áreas que apresentam acentuada escassez hídrica (ACSELRAD, 2013).

Os modelos de gerenciamento dos recursos hídricos no Brasil definem a água como um bem natural escasso e dotado de valor econômico, existindo alguns instrumentos em sua política de recursos hídricos (tanto nacional como estaduais), tais como: a outorga, a cobrança, o enquadramento, os planos e o sistema de informações.

Dentre esses instrumentos pode-se considerar a cobrança pelo uso de recursos hídricos, juntamente com a outorga de direito de uso da água, como os instrumentos mais relevantes para garantir o uso racional e equilibrado das águas, além de assegurar os seus múltiplos usos.

O Brasil vem tentando algumas soluções para os problemas relacionados aos recursos hídricos a partir de uma abordagem regional, com o avanço dos estados na elaboração de suas leis de organização administrativa para o setor.

A cobrança pelo uso da água já era prevista no Código de Águas, Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934, porém nunca fora posta em prática. Apenas com a Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, conhecida como Lei das Águas, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), que a cobrança pela água se apresenta de forma efetiva como um dos instrumentos dessa política.

A outorga de direito de uso da água também é um dos instrumentos da PNRH, podendo ser considerado como o instrumento que antecede a efetivação da cobrança em uma bacia hidrográfica. Por lei, a outorga consiste de ato administrativo, na modalidade de autorização, não implicando na alienação parcial ou total das águas.

Antecipando à União, o Estado do Ceará institui uma Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH), por meio da Lei nº 11.996, de 24 de julho de 1992. Os instrumentos da cobrança pela água e outorga pelo uso da água estão presentes na PERH.

Como a PERH, Lei nº 11.996/92, antecede a PNRH, Lei nº 9.433/97, então foi sancionada no Ceará em 28 de dezembro de 2010, a Lei nº 14.844, que instituiu uma nova

PERH, adequando esta política estadual à política nacional. Esta nova lei também mantém a cobrança e a outorga como instrumentos de gerenciamento de recursos hídricos.

O Estado do Ceará foi o primeiro estado da União a efetivar a cobrança pelo uso dos recursos hídricos estaduais. A cobrança teve início no ano de 1996, apenas para a indústria e o abastecimento. Atualmente a cobrança é aplicada em todas as bacias hidrográficas do Estado, tanto para captações em corpos superficiais como para extrações em aquíferos subterrâneos, onde os usuários de recursos hídricos se dividem nas seguintes categorias: indústria; abastecimento público; irrigação; piscicultura; carcinicultura; água mineral e potável de mesa; e demais usos.

O gerenciamento da oferta hídrica, tanto superficial como subterrânea, no Estado do Ceará é realizado pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará (COGERH), sendo o órgão responsável pelo cálculo e efetivação da cobrança pelo uso das águas superficiais e subterrâneas de todo o Estado.

Para um gerenciamento dos recursos hídricos eficiente em uma bacia hidrográfica torna-se necessário que os instrumentos da outorga e da cobrança estejam efetivados e atuando de forma eficiente. Desta forma, a análise da eficiência da aplicação da cobrança ou da outorga em uma bacia pode indicar a situação do gerenciamento nesta bacia.

Desde a efetivação da cobrança pelo uso da água no Estado do Ceará em 1996, não houve nenhuma mudança significativa na estrutura para o cálculo da cobrança. Também não houveram estudos relacionados ao desempenho da cobrança nos vários setores de uso nas bacias cearenses.

Assim, o estudo propôs a criação de uma metodologia inovadora de avaliação que vise comparar o desempenho do instrumento de cobrança nas diversas categorias de uso nas bacias hidrográficas do Estado, apresentando um quadro geral do desempenho desse instrumento em todo o território cearense.

Sabe-se que qualquer decisão relacionada ao gerenciamento de recursos hídricos ou a qualquer instrumento de gerenciamento é orientado por vários fatores que podem ser medidos em unidades diferentes.

Assim, pode-se afirmar que vários são os critérios que podem ser comparados na cobrança entre duas categorias de uso, tais como: o faturamento, o volume consumido, o número de usuários faturados, a demanda hídrica do setor, o volume outorgado, entre outros.

Desta forma, para uma avaliação, que leve em consideração os vários aspectos entre as categorias de uso das bacias cearenses, houve a necessidade de usar uma metodologia que analisou ao mesmo tempo esses vários critérios simultaneamente. Isto é usou-se neste trabalho uma modelagem de análise multicritério.

A metodologia de análise multicritério surgiu como uma técnica de decisão nas décadas 1960 e 1970, como resultado das operações de investigação que ocorreram durante a Segunda Guerra Mundial (HAJKOWICZ; COLLINS, 2007, p. 1553).

Desde então os métodos de análise multicritério são bastante utilizados como ferramentas de auxílio às tomadas de decisões por parte de gestores, como é o caso no planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica.

Esta metodologia já é bastante estabelecida e robusta possuindo um grande acervo de livros e revistas científicas relacionadas ao tema. Atualmente, existem várias ferramentas e modelos de análise multicritério com inúmeras aplicações e pacotes de software desenvolvidos exclusivamente para tomadas de decisão.

A técnica de análise multicritério adotada nesta pesquisa foi a análise por envoltória de dados (AED). A AED é uma ferramenta não paramétrica que utiliza a programação matemática para comparar os desempenhos (ou eficiências) de várias unidades tomadoras de decisão (UTD).

Donthu; Yoo (1998, p. 91) afirma que a AED é um método baseado em pesquisa operacional de modo a obter a eficiência de desempenho de UTDs que se caracterizam por múltiplas entradas (insumos) e saídas (produtos). Ainda segundo o autor a metodologia converte os vários insumos e produtos em uma única medida de desempenho, conhecida como a eficiência relativa.

Atualmente, devido aos estudos desenvolvidos por pesquisadores em todo mundo, há uma maior aceitação das técnicas AED, principalmente pelo fato de se tratar de um método bem objetivo, sem necessitar da opinião do decisor (SENRA; et al., 2007, p. 192).

Os modelos EAD constroem uma fronteira de eficiência classificando assim as UTDs analisadas em eficientes, que estão nesta fronteira, e não eficientes, que estão fora dessa fronteira. Assim, segundo Banker; et al. (1986, p. 39) a eficiência de uma UTD reflete a sua distância radial da fronteira de eficiência.

As principais categorias de uso de recursos hídricos no Estado do Ceará são a indústria, o abastecimento público e a irrigação. Desta forma, as UTDs consideradas neste trabalho são referentes à essas três categorias para as onze bacias hidrográficas cearenses, sendo então ao todo 33 UTDs avaliadas.

Na construção dessa metodologia foi necessária a definição de um conjunto de critérios que terão o intuito de comparar os desempenhos relativos de cada uma das 33 UTDs.

Assim, foi proposto um conjunto quantitativo de fatores, através de índices e taxas, que levarão em consideração os vários aspectos relacionados a aplicação do instrumento de cobrança pelo uso da água bruta entre as categorias de uso da indústria, do abastecimento público e da irrigação, em todas as bacias hidrográficas do Estado do Ceará.

Para o cálculo das medidas de eficiência de cada UTDs utilizando os fatores sugeridos na pesquisa para as 33 UTDs será usado como ferramenta computacional o *software* EAD – Solver, Professional Version 7.0 da SAITECH, inc.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é propor uma metodologia, por meio da Análise por Envoltória de Dados, que avalie o desempenho do instrumento da cobrança da água bruta aplicada as principais categorias de uso (indústria, abastecimento público e irrigação) nas bacias hidrográficas do Estado do Ceará.

1.1.2 Objetivos específicos

Para atingir esse objetivo geral, os seguintes objetivos específicos serão propostos:

1. Caracterizar a área de estudo: definição das UTDs a serem avaliadas;
2. Propor um conjunto de fatores quantitativos relacionados ao instrumento de cobrança pelo uso da água bruta;
3. Selecionar, dentre os fatores propostos (insumos e produtos), um modelo para analisar a eficiência relativa da cobrança nos setores de uso considerados;
4. Descrever o modelo AED como ferramenta para medir o desempenho da cobrança, por categoria de uso nas bacias cearenses;

5. Avaliar as unidades eficientes e não eficientes;
6. Propor melhorias nas unidades ineficientes de modo que as mesmas possam atingir a fronteira eficiente.

1.2 Estruturação da tese

Este trabalho se divide em cinco capítulos, sendo o primeiro referente à introdução, contendo os objetivos, tanto geral como específicos, e este resumo da estruturação do trabalho.

O Capítulo 1 apresenta as referências bibliográficas necessárias para elaboração dos objetivos desta pesquisa. Serão descritos neste capítulo o instrumento da cobrança pelo uso de recursos hídricos e a sua estruturação para a formação do preço da água.

Em seguida, no Capítulo 2 será feita uma descrição desse instrumento no Estado do Ceará, apresentando a metodologia adotada atualmente para o cálculo da cobrança pelo uso da água bruta nas bacias cearenses.

Ainda no Capítulo 2 será feita uma revisão do método de análise por envoltória de dados, descrevendo os principais modelos EAD utilizados para se medir a eficiência de unidades tomadores de decisão.

A metodologia deste trabalho estará descrita no Capítulo 3. Neste capítulo será feita uma caracterização da área de estudo, que é o Estado do Ceará, em termos de seus recursos hídricos. Em seguida são descritos os critérios propostos e os índices e taxas sugeridos para se fazer a avaliação do desempenho das UTDs consideradas nesta pesquisa.

Por fim, será apresentado, no Capítulo 3, o modelo AED que melhor se adequa para a realização das medidas de eficiências das 33 UTDs escolhidas nesta pesquisa, classificando os índices e taxas como *inputs* e *outputs* para o modelo.

No Capítulo 4 serão definidos os valores de cada um dos índices e taxas propostos como critérios de avaliação de desempenho de cada uma das 33 UTDs. Em seguida neste capítulo será aplicado o método I-O stepwise exaustivo completo que objetiva selecionar, dentre as variáveis sugeridas, as variáveis mais relevantes para compor o modelo final para análise de desempenho.

Ainda no Capítulo 4, de posse do modelo final será feita uma análise do desempenho relativo do conjunto de UTDs sugeridos na metodologia através da aplicação do

modelo EAD-BCC, orientado a produto, usando como ferramenta computacional o *software* EAD – Solver, Professional Version 7.0. Nesta análise serão indicadas as UTDs eficientes e não eficientes, além de indicar o que é necessário para que uma UTD ineficiente se torne eficiente.

Por fim, no Capítulo 5, serão apresentadas as conclusões desta pesquisa e em seguida serão feitas sugestões de estudos a serem desenvolvidos de modo a aperfeiçoar e a viabilizar essa metodologia inovadora e pouco utilizada por desconhecimento de pesquisadores.

2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Em algumas bacias hidrográficas do Brasil o crescimento desordenado dos centros urbanos aliado ao mau uso dos recursos hídricos são fatores decisivos para tornar a disponibilidade hídrica incompatível com a demanda hídrica dos seus usos múltiplos, provocando assim uma escassez desse recurso e gerando conflitos de interesses pelos vários usos da água.

No gerenciamento dos recursos hídricos em bacias que apresentam graves problemas de escassez hídrica podem-se adotar instrumentos tais como a cobrança pelo uso da água, na tentativa de se garantir um uso equilibrado e racional da água, além do favorecimento aos múltiplos usos desse recurso.

Um dos instrumentos de maior relevância que objetiva racionalizar o uso da água e evitar a escassez desse recurso em uma bacia hidrográfica é a cobrança pelo uso da água bruta. Assim, pode-se afirmar que o instrumento de cobrança pelo uso da água para uma determinada categoria de uso em uma bacia deve ser aplicado de modo a evitar os desperdícios e maus usos da água, evitando assim o comprometimento, tanto em quantidade como em qualidade, dos recursos hídricos da bacia, o que pode resultar em uma situação de escassez hídrica.

Conforme a Lei nº 9.433/97, a água tem um valor econômico e o instrumento de cobrança objetiva o seu uso de forma racional e equilibrada. A cobrança da água é então um preço sobre o uso, em quantidade ou qualidade, desse recurso.

Atualmente, a cobrança pelo uso da água é aplicada em águas de domínio da União, nas bacias hidrográficas do rio Paraíba do Sul, dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, do rio São Francisco e do rio Doce. Em águas de domínio estadual, a cobrança já é aplicada nos Estado do Ceará, que foi o pioneiro no Brasil, Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais.

As expressões matemáticas e as metodologias usadas para o cálculo da cobrança adotadas nessas bacias seguem um padrão muito semelhante, excetuando o Estado do Ceará que pode ser considerado um caso bem particular. Até o presente momento, a cobrança no Estado do Ceará apresenta como característica sua estrutura bem simplificada.

Inicialmente será feita uma descrição da estruturação básica adotada no Brasil para o cálculo da cobrança pelo uso da água, apresentando a metodologia adotada atualmente no Estado do Ceará.

Em seguida, será feita uma breve introdução ao método de análise por envoltória de dados que será utilizado como ferramenta para medir o desempenho (ou eficiência) do instrumento da cobrança pelo uso da água bruta nas principais categorias de uso nas bacias cearenses.

2.1 A cobrança pelo uso da água e sua estrutura

2.1.1 A cobrança pelo uso da água

O argumento de que a cobrança pelo uso da água não é um ônus para seus usuários, mas sim um critério de eficiência em sua utilização e instrumento de planejamento que permite a continuidade das ações do Estado, pode ser justificado pelo fato de a água está se tornando mais escassa (FONTENELE; ARAÚJO, 2001, p. 242).

Sendo a água um recurso natural que contribui para o desenvolvimento econômico e o bem-estar social, uma política nacional dos recursos hídricos não deve se abster da ideia de que a água tem funções econômicas e apresenta cada vez mais um valor econômico. Assim, sob a hipótese de torná-la escassa e limitar o seu uso para as gerações futuras, torna-se imprescindível valorá-la. Caso contrário corre-se o risco de provocar uma demanda excessiva que pode levar à degradação e/ou exaustão total (FONTENELE, 1999, p. 297).

De acordo com Abad (2007, p. 44), na teoria econômica se um determinado bem é útil e escasso, então ele deve ter um valor econômico, e quanto maior a escassez desse bem, maior será o seu valor.

Vale salientar que a característica mais marcante da água é que ela tem diferentes valores de uso e diferentes valores de troca ou preço. Assim, a gestão integrada da água deve-se basear na percepção da água como parte do ecossistema cuja quantidade e qualidade determinam a natureza de seu uso. Conforme Skinner; Langford (2013, p. 873), qualquer decisão em gestão de água deve ser tomada de modo ao melhor interesse do público.

A água tem valor econômico somente quando sua oferta é escassa em relação à sua demanda. Caso a água esteja disponível em quantidade ilimitada ela se torna livre no sentido econômico. Porém, a escassez desse recurso gera valor econômico para este bem, uma vez que vários usuários irão competir pelo seu uso. Logo, em um sistema de mercado a água passa a ter um preço definido, servindo como um guia de alocação do recurso entre usos alternativos de forma que se produza o maior retorno econômico (WARD; MICHELSEN, 2002, P. 425).

A cobrança pelo uso da água pode ser considerada com um mecanismo financeiro que atribui um preço a água usada ou retirada de um corpo hídrico (PLOEG; SOMMERFELD, 2011, p. 6).

A cobrança pelo uso dos recursos hídricos é um dos instrumentos das políticas de recursos hídricos, tanto nacional como estadual, tendo o objetivo de conscientizar o usuário desse recurso a buscar racionalizar o seu uso, além de propiciar a arrecadação de recursos financeiros para financiamento de projetos ligados aos recursos hídricos.

A cobrança pela água em uma bacia hidrográfica pode atuar também como um importante instrumento de equilíbrio entre a oferta hídrica e a demanda hídrica destinado aos vários usos nessa bacia. Segundo Fontenele (1999, p. 3000), essa cobrança pode mudar o comportamento de seus principais usuários.

A aplicação do instrumento de cobrança é uma forma da sociedade impor a um bem escasso como a água às pressões de mercado e às leis da oferta e da demanda (GARRIDO; CARRERA-FERNANDEZ, 2000, p. 605).

Nas bacias hidrográficas onde o balanço hídrico se apresenta em um estado crítico ou onde as águas se encontram em estado de degradação pela poluição, comprometendo a sua qualidade, a cobrança pelo uso desse recurso é justificada. Por lei, serão cobrados os usos que estão sujeitos à outorga por parte do poder público.

A Agência Nacional de Águas (ANA), uma autarquia federal vinculada ao Ministério do Meio Ambiente (MMA), foi criada pela Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, e onde uma de suas competências é a operacionalização da cobrança pelo uso da água em corpos hídricos de domínio da União.

De acordo com a Lei Federal nº 10.881, de 09 de junho de 2004, todo recurso financeiro arrecadado na cobrança em uma bacia federal, deverá ser repassado integralmente à Agência de Águas da Bacia correspondente (BRASIL, 2004).

A cobrança não deve ser pensada apenas como uma forma de arrecadar recursos financeiros para reverter à degradação atual existente, e sim, como uma forma de instituir um comportamento adequado em relação à racionalização do uso da água (THAME et al., 2000, p. 14).

Para Ward; Michelsen (2002, p. 428), o preço a ser pago pelo uso de recursos hídricos em uma bacia hidrográfica deve representar com precisão os benefícios que resulta os seus diversos usos nessa bacia.

Logo a cobrança pela água deve ser interpretada como um preço público fixado por intermédio de negociação entre a sociedade civil, o poder público, os usuários dos recursos hídricos e os membros do comitê da bacia hidrográfica (CBH). Porém para que essa cobrança tenha sucesso é necessário que a comunidade envolvida aceite o pagamento desse preço público.

Para Fontenele (2002, p. 3), os modelos tarifários adotados para a cobrança pelo uso da água devem ter como objetivo o de garantir uma eficiente alocação dos recursos disponíveis, maximizando o bem-estar social e cobrir os custos de produção e ampliação do sistema.

De acordo com a Lei nº 9.433/97, para fixar os valores a serem cobrados pelo uso dos recursos hídricos, em uma bacia hidrográfica, devem ser observados:

Nas derivações, captações e extrações de água, o volume retirado e seu regime de variação; e nos lançamentos de esgotos e demais resíduos, o volume lançado e seu regime de variação e as características físico-químicas, biológicas e de toxidade do afluente.

A cobrança pelo uso da água indica o estágio da implementação da PNRH, na medida em que sua implantação em uma bacia hidrográfica decorre da concretização de outros instrumentos de gestão (ANA, 2012, p. 137).

De acordo com a Lei nº 9.433/97, os recursos arrecadados com a cobrança deverão ser aplicados na própria bacia de origem e deverão ser usados para financiar estudos, projetos e obras incluídos nos planos de recursos hídricos e no pagamento de despesas de implantação e custeio administrativo dos órgãos e entidades integrantes do SINGERH.

A cobrança em rios de domínio da União tem início após a aprovação pelo CNRH dos mecanismos e valores de cobrança propostas pelos CBHs. Segundo Acselrad (2013, p. 36), a cobrança está implantada em quatro bacias de rios de domínio da União: Paraíba do Sul; Piracicaba, Capivari e Jundiá; São Francisco; e Doce.

Em termos estaduais, a cobrança pelo uso de recursos hídricos está implantada em bacias de domínio dos Estados do Ceará, Rio de Janeiro, São Paulo, Minas Gerais e Paraíba.

Porém, apenas o Ceará (1996) e o Rio de Janeiro (2004) implantaram a cobrança em todo o seus territórios.

O CNRH aprovou no âmbito nacional a cobrança pelo uso da água, através da Resolução CNRH nº 48, de 21 de março de 2005, estabelecendo os critérios gerais para essa cobrança nas bacias hidrográficas. No Quadro 2.1 são apresentados os aspectos que devem ser considerados para fixar os valores a serem cobrados pelo uso da água.

Quadro 2.1 – Mecanismos para definição dos valores a serem cobrados pelo uso dos recursos hídricos

I – À derivação, captação e extração	II – Lançamentos de efluentes	III – Demais usos
a) Natureza do corpo d'água (superficial ou subterrâneo); b) Classe de enquadramento do corpo d'água; c) Disponibilidade Hídrica; d) Grau de regularização assegurada por obras hidráulicas; e) Vazão reservada e seu regime de variação; f) Vazão consumida (diferença entre a captada e a devolvida ao corpo d'água); g) Finalidade; h) Sazonalidade; i) Características e a vulnerabilidade dos aquíferos; j) Características físicas, químicas e biológicas da água; l) Localização do usuário na bacia; m) Práticas de racionalização, conservação, recuperação e manejo do solo e da água; n) Condições técnicas, socio-econômicas e ambientais existentes. o) Sustentabilidade econômica da cobrança por parte dos segmentos usuários; p) Prática de reuso da água.	a) Natureza do corpo d'água (superficial ou subterrâneo); b) Classe de enquadramento do corpo d'água; c) Disponibilidade Hídrica; d) Grau de regularização assegurada por obras hidráulicas; e) Carga de lançamento e seu regime de variação; f) Natureza da atividade; g) Sazonalidade; h) Características e a vulnerabilidade das águas dos aquíferos e superficiais; i) Características físicas, químicas e biológicas da água; j) Localização do usuário na bacia; l) Práticas de racionalização, conservação, recuperação e manejo do solo e da água; m) Grau de comprometido que podem ser causados no corpo receptor; n) Vazões consideradas indisponíveis; o) Redução da emissão de efluentes; p) Atendimento das metas de despoluição programadas nos planos de recursos hídricos; q) Redução efetiva da contaminação hídrica; r) Sustentabilidade econômica por parte dos segmentos usuários.	a) Natureza do corpo d'água (superficial ou subterrâneo); b) Classe de enquadramento do corpo d'água; c) Disponibilidade hídrica; d) Vazão reservada e seu regime de variação; e) Alteração que o uso pode causar em sinergia com a sazonalidade; f) Características físicas, químicas e biológicas da água; g) Características e a vulnerabilidade dos aquíferos; h) Localização do usuário da bacia; i) Grau de regularização assegurado por obras hidráulicas; j) Sustentabilidade econômica da cobrança por parte dos segmentos usuários; l) Finalidade do uso ou interferência

Fonte: CNRH, 2005.

Segundo a Resolução CNRH nº 48/2005, em seu Artigo 5º, a cobrança pelo uso da água será efetuada pela entidade ou órgão gestor de recursos hídricos ou, por delegação destes, pela Agência de Bacia Hidrográfica ou entidade delegatária (CNRH, 2005).

Estão sujeitos à cobrança os usos destinados à indústria, à irrigação e agropecuária, ao setor de saneamento básico, à aquicultura, à mineração, à transposição de águas e à geração hidrelétrica.

2.1.2 Estrutura básica da cobrança pelo uso da água

Os mecanismos e critérios adotados para a cobrança pelo uso de recursos hídricos em bacias hidrográficas no Brasil, excetuando as bacias cearenses, apresentam semelhança estrutural, com pequenas diferenças em relação a coeficientes setoriais ou de adequação.

O modelo mais usado para o cálculo da cobrança pelo uso de recursos hídricos tem a seguinte estrutura básica:

$$\text{Cobrança} = \text{Base de Cálculo} \times \text{Preço Unitário} \times \text{Coeficientes}$$

O valor pago pelo uso da água é o produto entre a base de cálculo e o preço unitário. Para Thomas (2002, p. 31), a base de cálculo é definida em função do uso da água, enquanto o preço unitário é definido, em geral, em função dos objetivos da cobrança. Os coeficientes foram acrescentados à estrutura básica de modo a definir critérios específicos, como diferenciar a cobrança em função do tipo de uso, tipo de usuário, sazonalidade, localidade, balanço hídrico etc.

2.1.2.1 Base de Cálculo

A base de cálculo tem o papel de quantificar o uso da água, podendo ser o uso para captação, consumo ou lançamento de cargas poluentes. Para Forgiarini (2006, p. 29), a captação é quantidade de água retirada de um corpo d'água, enquanto o consumo é a parcela captada que não retorna ao corpo d'água. Por fim, a diluição é a quantidade de água necessária para realizar a diluição de uma carga poluente.

Para Thomas (2002, p. 32), esses usos de água podem ser caracterizados de forma direta (como vazão ou volume) ou de forma indireta (como a carga poluente lançada, a área irrigada ou a energia produzida).

2.1.2.2 Preço Unitário

“Sendo a água um bem natural disponibilizado pelo meio ambiente e não transacionado nos mercados convencionais, torna-se necessário valorá-la para que a sociedade

estabeleça o seu uso econômico de forma mais eficiente (FONTENELE; ARAÚJO, 2001, p. 239)”.

A formação de preços para o uso dos recursos hídricos é baseado em metodologias teórico-científicas o qual, por meio de instrumentos normativos e métodos próprios, estabelece níveis com um razoável grau de precisão para os preços a serem praticados (THAME et al., 2000, p. 85).

Existem inúmeras metodologias para formar o preço de um bem público como a água, que tem como característica a mobilidade, além do fato de ter usos tão distintos. Segundo Jardim (2003, p. 55), devido aos múltiplos usos da água, esse recurso apresenta uma diversidade de valores e preços, conforme o seu uso.

Forgiarini (2006, p.2), ressalta que a sociedade possui um papel muito importante, uma vez que ela pode aprovar ou reprovar uma metodologia adotada para definição dos valores a serem cobrados pelo uso da água.

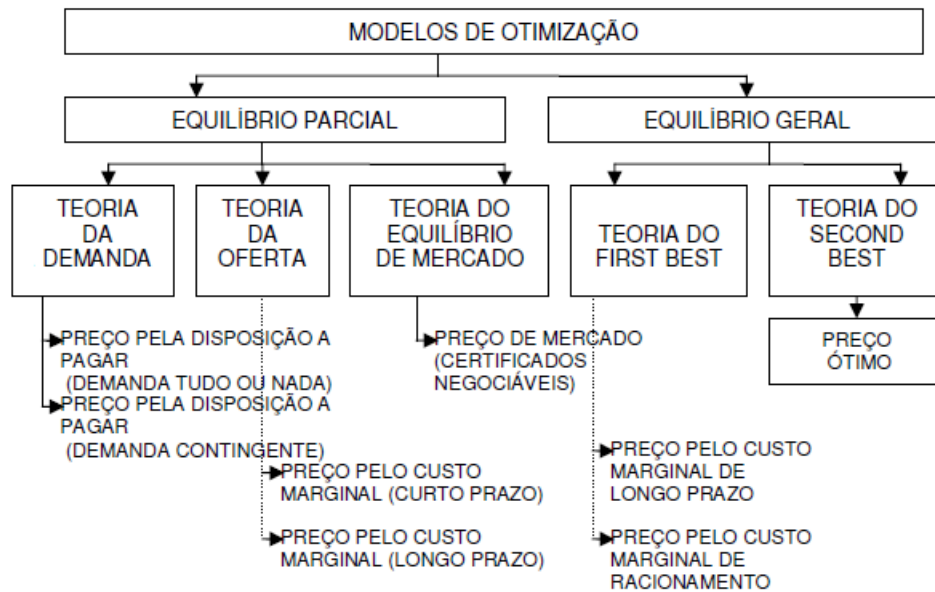
Vale salientar que o preço cobrado pelo uso da água pode afetar a eficiência do seu uso, tanto em nível individual com em nível social. Para Dinar; Subramanian (1997, p. 1), a tarifação da água pode ser adotada para atender muitos objetivos específicos, além de garantir uma melhor distribuição do recurso entre os vários usos e a maior eficiência do seu uso, de modo a estimular a sua conservação.

A política de precificação da água em uma região pode ajudar a manter a sustentabilidade desse recurso em si. O problema enfrentado pelo setor dos recursos hídricos nos locais onde se adotam uma política de precificação da água é que os preços e tarifas cobrados são em sua grande maioria abaixo do custo total de oferta, acarretando grande ineficiência desse setor (ROGERS et al., 2002, p. 2).

Os modelos para formação do preço da água são classificados em dois grandes grupos: os modelos de otimização, fundamentados na teoria econômica neoclássica, podendo ser de equilíbrio geral ou parcial e os modelos ad hoc.

Na Figura 2.1, são apresentadas as principais metodologias para calcular o preço da água tomando como base os modelos de otimização.

Figura 2.1 – Metodologias para valoração da água baseadas em modelos de otimização



Fonte: Campos, 2005.

As metodologias de formação de preço do primeiro grupo são constituídas de mecanismos que adotam a conduta otimizadora, com postulados amplamente aceitos e fundamentados na teoria econômica.

“De acordo com Damásio et al. (2003, p. 499), essas metodologias buscam ou priorizam alguns dos três princípios econômicos básicos, isto é: eficiência econômica; eficiência distributiva ou equidade; e recuperação dos custos (auto sustentabilidade financeira)”.

Na definição de um preço para a água em uma bacia hidrográfica, utilizando os modelos de equilíbrio parcial, deve-se considerar apenas um setor usuário, enquanto nos modelos de equilíbrio geral todos os setores usuários dessa bacia devem ser levados em conta.

De acordo com a Figura 2.1 os modelos de equilíbrio parcial são fundamentados na teoria da demanda, na teoria da oferta e na teoria do equilíbrio parcial. A determinação do preço da água em uma bacia hidrográfica, fundamentado nas teorias das demandas, contingente ou “tudo ou nada”, é baseada na disposição dos usuários a pagar pelo uso da água.

No método da demanda contingente, os usuários revelam as suas preferências, através da criação de um mercado hipotético. No método da demanda “tudo ou nada”, é feita uma simulação na qual interrompe-se o fornecimento de água, obtendo-se o máximo valor a ser pago por uma certa quantidade dessa água, sem

que os usuários chegassem ao extremo de procurarem uma nova alternativa para suprirem as suas necessidades (CAMPOS, 2005, p. 62)

Para Campos (2005, p. 62), nos modelos de equilíbrio parcial, fundamentados na teoria da oferta, o preço da água é determinado por meio da teoria do lucro, onde se quantifica o custo marginal, de curto ou longo prazo, de gerenciamento do sistema.

Nos modelos de equilíbrio parcial fundamentado na teoria do equilíbrio de mercado, são criados títulos negociáveis de direito de uso da água, isto é, cria-se um mercado de água. Neste caso, o preço da água é obtido através da livre negociação entre compradores e vendedores, de cotas individuais de consumo permitido.

Conforme a Figura 2.1, pode-se ver que os modelos de equilíbrio geral são fundamentados nas teorias do first best e second best. Na obtenção do preço da água, utilizando a teoria do first best, parte-se do custo marginal de produção, enquanto que na teoria do second best (elaborada por Lypsei e Lancaster, em 1956) baseia-se na metodologia de preços ótimos (CAMPOS, 2005, p. 61).

Os modelos *ad hoc* são assim chamados por não tomar como base os postulados microeconômicos, não atendendo, portanto, a critérios derivados da economia do bem-estar; em geral, podem seguir outras motivações não diretamente identificáveis com os cânones desta teoria (DAMÁSIO et al., 2003, p. 499).

A formação do preço da água em uma bacia, por meio dos modelos *ad hoc*, pode ocorrer por simples escolha aleatória ou por rateio dos custos de investimentos entre os usuários dessa bacia, sem levar em consideração a eficiência econômica, equidade ou sustentabilidade de gestão (TEIXEIRA, 2012, p. 50).

Dentre as metodologias *ad hoc*, a mais utilizada para obter o preço da água é a metodologia do preço pelo custo médio. A formação de preço da água em uma bacia hidrográfica, utilizando essa metodologia, é obtida através de um rateio de custo entre os consumidores de água da bacia.

2.1.2.3 Coeficientes ponderadores

O terceiro mecanismo da estrutura de cobrança são os coeficientes e a sua aplicação se deu da necessidade da adaptação dos mecanismos de cobrança a objetivos específicos.

Para Forgiarini (2006, p. 35) os principais coeficientes utilizados são: Tipo de usuário e uso; Eficiência no uso; Sazonalidade; Enquadramento do corpo hídrico; Disponibilidade hídrica; Vulnerabilidade dos aquíferos; Local de lançamento; Distância de lançamento; Eficiência na remoção de carga poluente.

Apesar dos coeficientes serem bastante utilizados, muitas vezes os mesmos não são quantificados de forma precisa, sendo, então, definido por meio de negociações e acordos políticos.

Os coeficientes são utilizados com o objetivo de diferenciar os valores a serem cobrados pelo uso dos recursos hídricos de acordo com as características da bacia hidrográfica, além de ser um mecanismo de compensação e incentivo aos usuários, como ocorre no Estado de São Paulo.

Os coeficientes podem ser usados na metodologia de cobrança pelo uso de recursos hídricos em uma bacia hidrográfica com a finalidade de garantir o uso racional, evitando os desperdícios e garantindo a proteção dos recursos hídricos nessa bacia.

2.2 A cobrança pelo uso da água no Estado do Ceará

2.2.1 O instrumento da cobrança no Estado do Ceará

O Estado do Ceará foi o segundo Estado do Brasil a instituir uma política de recursos hídricos, por meio da Lei nº 11.996/92, sendo o Estado de São Paulo o primeiro. Nessa Lei já se previa como instrumento de gestão a cobrança pelo uso dos recursos hídricos. Em 2010, essa lei é substituída pela Lei nº 14.844/2010.

No Artigo 5º da Lei nº 14.844/2010 são enumerados os instrumentos da Política de Recursos Hídricos do Estado do Ceará, dentre os quais se destacam: a outorga de direito de uso de recursos hídricos e a cobrança pelo uso da água (CEARÁ, 2010).

Esses dois instrumentos podem ser considerados complementares. “Segundo Rodrigues; Aquino (2013, p. 27), a outorga pelo uso da água deve preceder a cobrança pelo uso da água, não devendo esses instrumentos serem tratados independentemente”.

A outorga de direito de uso de recursos hídricos em uma bacia hidrográfica tem como objetivo controlar o uso da água, de modo a evitar os desperdícios e assegura que todos os usuários das águas dessa bacia tenham acesso a esse recurso.

O órgão cearense responsável pelo gerenciamento da oferta das águas estaduais, tanto superficial como subterrânea, é a COGERH. Essa companhia tem ainda a competência de calcular e efetivar a cobrança pelo uso das águas do Estado.

A COGERH atua no Estado como uma espécie de agência para todas as bacias hidrográficas cearenses, uma vez que não são os comitês de bacias que decidem sobre como serão utilizados os recursos arrecadados com a cobrança e sim esta companhia.

Segundo Ceará (2008, p. 8), “no âmbito da oferta hídrica, há um elenco de programas e projetos em parcerias com agentes nacionais e internacionais que compreendem obras de reservação (barragens), de transferências (adutoras e canais), e de exploração de águas subterrâneas (poço)”.

A cobrança no Ceará teve início no ano de 1996, por meio do Decreto nº 24.264, de 12 de novembro de 1996. Conforme Viana (2011, p. 49), inicialmente foi cobrado os usos de água bruta para os setores da indústria e das concessionárias de serviço de água potável, tendo como base de cálculo o volume, em metros cúbicos, efetivamente consumidos.

Inicialmente, a cobrança era aplicada somente as retiradas em água superficiais que fossem de algum modo regulado por meio de medidas de infraestrutura. A partir de 2004, a cobrança pelo uso da água bruta passa a ser cobrada para todas as finalidades de uso (HARTMANN, 2010, p. 212).

A cobrança no Ceará tem o objetivo de arrecadar recursos financeiros para as atividades de gestão das águas, das obras de infraestrutura operacional do sistema de oferta hídrica, bem como incentivar o uso racional da água.

O Artigo 16 da Lei nº 14.844/2010, é estabelecido que:

Será cobrado o uso dos recursos hídricos superficiais ou subterrâneos, segundo as peculiaridades das Bacias Hidrográficas, na forma como vier a ser estabelecido pelo CONERH, por meio de Resolução, a qual será enviada ao Governador do Estado do Ceará, que fixará o valor das tarifas por Decreto, obedecendo aos seguintes critérios:

I – a cobrança pela utilização considerará a classe de uso preponderante em que for enquadrado o corpo de água onde se localiza o uso, a disponibilidade hídrica local, o grau de regularização assegurado por obras hidráulicas, a vazão captada e seu regime de variação, o consumo efetivo e a finalidade a que se destina;

II – a cobrança pelo transporte de efluentes do sistema de esgoto e outros líquidos de qualquer natureza considerará o grau de regularização assegurado por obras hidráulicas, a carga lançada e seu regime de variação, ponderando-se, dentre outros,

os parâmetros orgânicos e físico-químicos dos efluentes, atendendo à legislação pertinente e à natureza da atividade responsável pelos mesmos.

O que se observa até a presente data é que a diferenciação da cobrança, como se prevê na legislação, ainda não está ocorrendo. A cobrança referente ao lançamento de efluentes, também prevista em lei, ainda não está efetivada. Segundo Hartmann (2010, p. 219), para a implementação da cobrança referente ao lançamento de efluentes, torna-se necessário um aprofundamento prévio dos estudos científicos.

Uma vez que na definição dos valores das tarifas de consumo não levam-se em consideração o artigo nº 16 da Lei nº 14.844, pode-se concluir que o modelo atual de cobrança pelo uso da água bruta no Estado do Ceará está em desacordo com a legislação vigente de recursos hídricos.

Para Hartmann (2010, p. 206), a cobrança cearense pode contribuir, por um lado, para o financiamento da expansão hídrica estadual, como por exemplo, a interligação entre bacias, e, por outro lado, auxiliar no gerenciamento das águas estaduais.

2.2.2 Metodologia adotada nas bacias cearenses

Conforme Viana (2011, p. 49), entre os anos de 2001 e 2002, foram desenvolvidos estudos para definição da tarifa e um modelo a ser usada na cobrança pelo uso da água bruta no Estado.

Dentre vários modelos propostos, foi sugerida uma fórmula binomial fundamentada no custo marginal de gerenciamento dos recursos hídricos e na capacidade de pagamento de cada usuário.

O modelo apresenta a forma binomial envolvendo um componente referente ao consumo (tarifa de consumo) e outro equivalente à demanda outorgada (tarifa de outorga), como mostrado na equação

$$T(u) = T_{out} V_{out} + T_{ef} V_{ef} \quad (2.1)$$

Onde:

- $T(u)$ é a tarifa do usuário, em R\$;
- T_{out} é a tarifa padrão da outorga de longo prazo, em R\$/m³;

- V_{out} é o volume outorgado do usuário, em m^3 ;
- T_{ef} é a tarifa padrão sobre o volume efetivamente consumido, em $R\$/m^3$;
- V_{ef} é o volume mensal efetivamente consumido pelo usuário, em m^3 .

Para Araújo (2002, p. 9), a grande vantagem do modelo proposto é a de contemplar tanto o volume consumido como o volume outorgado em longo prazo. Ainda segundo o autor, tanto o volume outorgado como a tarifa padrão de outorga de longo prazo podem ser associados à garantia de oferta.

Para Hartmann (2010, p. 231), devido à escassez, essa estrutura apresentada na Equação (2.1) tem efeitos positivos, tanto para incentivar os usuários a reduzirem seu consumo, como também adequarem suas outorgas solicitadas à verdadeira necessidade, deixando assim de acumular sem necessidade, direitos de usos escassos.

Em decorrência da necessidade de estruturação do órgão de gerenciamento, da universalização da outorga, assim como uma maior compreensão e aceitação dos usuários, a cobrança no Estado é implementada na forma monomial, onde será considerada apenas a tarifa baseada na água consumida. Isto é,

$$T(u) = T_{ef} V_{ef} \quad (2.2)$$

Diferentemente do que ocorre na maioria das metodologias de cobrança pelo uso da água, no Ceará a base de cálculo usa apenas o consumo efetivo, Equação (2.2), não fazendo distinção entre captação e consumo. Neste caso, se considera que o volume de retorno é igual à zero, ou seja, a vazão de retirada (captada) é igual à vazão de consumo.

Assim, o volume mensal de água bruta consumida pelos usuários, para efeito de cobrança, tanto para captação de água superficial quanto subterrânea, será calculado através dos seguintes métodos: utilização de hidrômetro volumétrico; medições frequentes de vazões; e mediante estimativas indiretas (CEARÁ, 2013).

A metodologia adotada na tarifa usada no Ceará utilizou dos subsídios cruzados intersetoriais na forma de tarifas diferenciadas para a indústria, as companhias de saneamento básico, a agricultura e os demais usuários (HARTMANN, 2010, p. 212). Vale ressaltar que a aplicação de subsídios de custos de capitais tem o objetivo de proteger os setores com a

menor capacidade de pagamento, que no caso dos usuários de recursos hídricos do Ceará é o setor da irrigação.

Para Garrido; Carrera-Fernandez (2000, p. 609), a definição dos valores das tarifas para cada setor usuário foi obtidos de forma “ad hoc”, sem nenhuma fundamentação econômica amplamente aceita que busque conceitos de eficiência econômica.

A cobrança mais parece aproximar-se de uma tarifa cobrada pela disponibilização ou o fornecimento do recurso do que de um pagamento pelo seu uso. Por este motivo, o termo cobrança pelo uso da água (bruta) acaba sendo recusado por muitos pesquisadores no contexto do modelo cearense (HARTMANN, 2010, p. 210).

Atualmente está em vigor o Decreto nº 31.195, de 16 de abril de 2013, que dispõe sobre a cobrança pela água bruta, tanto superficial como subterrânea, do Estado ou da União por delegação de competência.

Os usos de recursos hídricos considerados na cobrança no Estado do Ceará são: o abastecimento público; a indústria; a irrigação; a piscicultura; a carcinicultura; água mineral e potável de mesa; e demais usos.

Por força de lei, os valores das tarifas a serem cobradas são fixados por meio de Decreto do Governador do Estado do Ceará.

A cobrança pelo uso dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos de domínio do Estado do Ceará ou da União por delegação de competência decorrerá da outorga do direito de seu uso, emitida pela Secretaria dos Recursos Hídricos (SRH), e será efetivada de acordo com o estabelecido neste Decreto, objetivando viabilizar recursos para as atividades de gestão dos recursos hídricos, para obras de infraestrutura operacional do sistema de oferta hídrica, bem como incentivar a racionalização do uso da água (CEARÁ, 2013).

Segundo Fontenele (2002, p. 6), o modelo tarifário adotado atualmente do Estado do Ceará levou em consideração as características econômicas e sociais dos usuários dos recursos hídricos, além dos aspectos institucionais e financeiros da COGERH.

As tarifas usadas para o cálculo da cobrança pelo uso da água bruta em vigência atualmente no Ceará são apresentadas na Tabela 2.1. Conforme observado nesta tabela, pode-se afirmar que a tarifa de consumo para a cobrança no Ceará varia de acordo como os seguintes critérios: tipo de uso; localização que se encontra o usuário, no caso do abastecimento público; quem realiza a captação, se o próprio usuário ou COGERH; e conforme o volume consumido pelo usuário, no caso da irrigação.

Tabela 2.1 – Tarifa pelo uso dos recursos hídricos no Estado do Ceará

Usos/categorias		Tarifa (R\$/1.000 m ³)
Abastecimento	Região Metropolitana de Fortaleza	105,36
	Demais regiões do Estado – sem adução da COGERH	34,76
	Demais regiões do Estado – com adução da COGERH	318,51
Indústria	Sem adução da COGERH	459,65
	Com adução da COGERH	1.581,25
Irrigação	De 1.440 a 18.999 m ³ /mês – sem adução da COGERH	1,00
	A partir de 19.000 m ³ /mês – sem adução da COGERH	3,00
	De 1.440 a 46.999 m ³ /mês – com adução da COGERH	7,84
	A partir de 47.000 m ³ /mês – com adução da COGERH	12,55
Piscicultura	Tanque escavado – sem adução da COGERH	3,20
	Tanque escavado – com adução da COGERH	12,55
	Tanque rede	38,11
Carcinicultura	Sem adução da COGERH	3,20
	Com adução da COGERH	12,55
Demais usos	Sem adução da COGERH	105,70
	Com adução da COGERH	319,53
Água mineral e potável de mesa		459,65

Fonte: Ceará, 2013.

Em resumo, o modelo de cobrança pela água adotada nas bacias cearenses é um caso bem particular, possuindo as seguintes peculiaridades:

- Não há uma distinção clara entre captação e consumo;
- Na sua base de cálculo não se adota o volume outorgado;
- Não há cobrança pelo lançamento de efluentes;
- A cobrança possui uma única parcela, referente ao consumo.

Atualmente no Estado do Ceará a poluição de suas águas já representa um problema tanto de ordem ecológica como de ordem econômica. Assim, estudos devem ser desenvolvidos de modo a adoção de uma cobrança pelo lançamento de efluente. Cabe salientar que as outorgas para este tipo de lançamento já são emitidas pela Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos (SRH).

2.3 A análise por envoltória de dados

2.3.1 Análise multicritério

Segundo Raju et al. (2001, p. 436), a análise multicritério é uma ferramenta muito importante para problemas complexos do mundo real, uma vez que tem a capacidade de julgar diferentes cenários alternativos de modo a selecionar o melhor possível para uma determinada aplicação.

Logo, a análise multicritério tem como finalidade adotar uma nota sobre determinado objetivo a ser atingido, através do equacionamento no qual constam os fatores (critérios ou parâmetros) a serem considerados, os seus respectivos pesos e uma ordem hierárquica entre eles (TREVISAN et al., 2011, p. 40).

Desta forma, pode-se definir a análise multicritério como um método de avaliação que objetiva se tomar uma decisão, ou escolha, entre várias alternativas levando em consideração múltiplos critérios definidos, onde essas alternativas são ordenadas do “melhor” ao “pior”.

Uma decisão pode ser definida como a representação da melhor alternativa, dentre várias possibilidades, tendo como base o atendimento das necessidades impostas por uma determinada situação particular.

“A análise multicritério, em geral denominada de multicriterial ou multiobjetivo, permite levar em consideração, simultaneamente, objetivos sociais, econômicos, ambiental e político (BRAGA; RIBEIRO, 2006, p. 37)”.

Em muitas situações em que se deseja fazer uma avaliação de alternativas para uma tomada de decisão em um projeto, programa ou política, como, por exemplo, no gerenciamento dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica, torna-se importante a consideração, simultaneamente, dos aspectos econômicos, sociais, ambientais e políticos, bem como quaisquer outro que se mostre relevante nesta bacia.

Conforme Mendoza; Martins (2006, p. 1), a tomada de decisão por meio da análise multicritério apresenta três dimensões, a saber:

1. A abordagem formal (o método);
2. A presença de múltiplos critérios a serem avaliados;
3. As decisões são tomadas por um indivíduo ou grupo de indivíduos.

Segundo Castro et al. (2004, p. 7), “esses métodos apresentam a desvantagem de necessitar de um grande número de informações para a avaliação de cada alternativa”. Ainda conforme o autor os decisores e a escolha dos critérios a serem avaliados pode tornar a análise muito subjetiva.

Os critérios de avaliação adotados devem ser independentes, mutuamente exclusivos e, coletivamente, devem fornecer uma caracterização (especificação) exaustiva, isto é, completa, do objetivo fundamental ao que os mesmos se referem (JARDIM, 2003, p. 40).

Uma das fases mais importantes da análise multicritérios é a escolha do melhor método de análise, que pode não ser uma tarefa fácil, exigindo muita experiência dos decisores. A escolha de um modelo específico de análise multicriterial a ser empregado em qualquer área irá depender de vários fatores, como o tipo de problema em análise, os agentes envolvidos na decisão, os procedimentos de comparação entre as alternativas e o tipo de resposta a que se deseja obter.

Na escolha do melhor método para uma análise multicriteriosa devem ser levadas em consideração as seguintes observações:

- O método de análise depende do tipo de problema a ser analisado;
- O analista deve ter familiaridade com o método de análise;
- Os recursos necessários para a aplicação do método de análise devem existir e estar disponíveis.

Assim, cada técnica irá simular, de uma forma muito particular, um determinado procedimento de decisão, por meio de um conjunto de passos de modo a se chegar a uma solução ótima.

Vale salientar que nas análises de multicritérios não há apenas uma única solução ótima e sim um conjunto de soluções, cada uma atendendo particularmente aos critérios envolvidos na análise. Chama-se esse conjunto de Conjunto Ótimo de Pareto, no qual a melhoria de um critério irá implicar na degradação em relação a outro.

Ao final de um processo de análise multicritério é indispensável a análise de sensibilidade, pois a mesma permite verificar a estabilização da classificação proposta, principalmente das primeiras posições dentre as alternativas, em relação aos múltiplos parâmetros (CASTRO et al., 2004, p. 16).

Juntamente com a análise multicritério o uso de indicadores pode auxiliar o processo de tomada de decisão, uma vez que os indicadores tem a capacidade de sintetizar as informações complexas e multidimensionais (POMPERMAYER et al., 2007, P. 118).

A capacidade de sintetização das informações dos indicadores torna o seu uso indispensável em uma análise multicritério auxiliando a tomada de decisão por parte dos gestores e decisores.

A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), define indicador como um parâmetro, ou um valor derivado de parâmetros, que descreve um estado ou um fenômeno, com significativa extensão (VIEIRA; STUDART, 2009, p. 127).

Um indicador pode, então, ser conceituado como uma ferramenta de avaliação referida a uma característica específica e observável, mensurável em escala quantitativa ou qualitativa, ou a uma mudança que pode ser avaliada em relação a um critério previamente selecionado, e que mostra a evolução de uma política ou de um ou mais programas implementados em relação a essa característica ou critério, ou o progresso relativamente ao atingimento de um resultado determinado, habilitando os tomadores de decisão a avaliar a necessidade/oportunidade de uma intervenção corretiva e/ou estimular o progresso rumo aos resultados, metas e produtos perseguidos ou, ainda, os impactos de uma determinada ação (MARANHÃO, 2007).

Para Vieira; Studart (2009, p. 127), os indicadores podem ser descritivos ou normativos, podendo representar tanto informações qualitativas como quantitativas e com aplicações em tempo e espaço.

“Uma das dificuldades que se apresenta para uso de indicadores consiste na integração de variáveis, uma vez que elas frequentemente envolvem grandezas de naturezas distintas (CASTRO et al. 2004, p. 7)”.

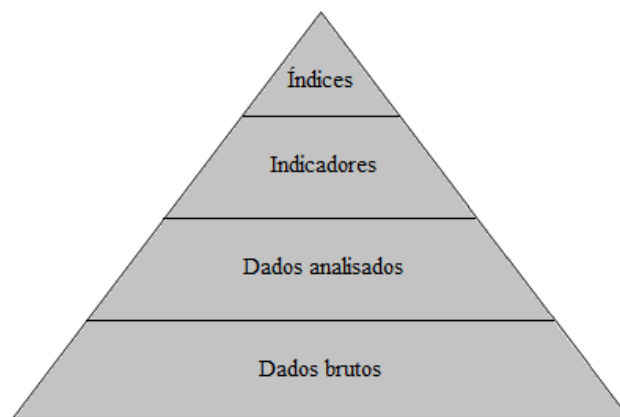
Vale salientar que um indicador deve ser bem fundamentado em sua teoria, baseado em padrões existentes em relação a sua validade. Segundo Pompermayer et al. (2007, p. 118), existem várias estruturas a partir das quais um indicador pode ser formulado, organizado e selecionado.

Podem-se agregar vários indicadores em um único parâmetro, chamado de índice, de tal forma que seja capaz de traduzir todas as informações de uma região em números, apontando assim uma direção para o tomador de decisão.

O objetivo principal do índice é de proporcionar informações compactas e objetivas para o gerenciamento e para as políticas de desenvolvimento de tal forma que os decisores e o público possam entendê-los e relacioná-los (VIEIRA; STUDART, 2009, p. 127).

Por meio da Figura 2.2 pode-se ver a relação entre dados brutos e a formação de índices.

Figura 2.2 – Pirâmide de informações



Fonte: Elaboração do autor, 2014¹.

Os dados brutos de uma região estudada podem ser analisados de tal forma que possam ser desenvolvidos indicadores, tanto quantitativo como qualitativo, que representem essa região. Entretanto, dois ou mais indicadores podem ser anexados em um único índice de modo a facilitar a interpretação dos gestores e dos tomadores de decisão.

Em resumo, os indicadores e índices são ferramentas que incorporam as informações e possibilitam uma comparação de características distintas ou de regiões, como uma bacias hidrográficas, que são usados no auxílio a tomada de decisão em um processo de análise multicriterial.

Em seguida, será apresentada uma nova metodologia de análise por envoltória de dados de modo a obter indicadores a ser usados em um processo de tomada de decisão em recursos hídricos.

2.3.2 Produtividade e eficiência

A análise por envoltória de dados (AED), também conhecida como DEA (sigla em inglês de *Data Envelopment Analysis*) é uma ferramenta matemática usada para medir a

¹ BRASIL, 2012.

eficiência de unidades produtivas que usam múltiplos recursos (também chamados de insumos) para a produção de um ou mais produtos. Entretanto, para estudar este tipo de análise é muito importante saber o significado preciso dos seguintes termos: eficácia, produtividade e eficiência.

De acordo com Mello et al. (2005), a eficácia relaciona-se com o que é produzido, sem levar em consideração os insumos usados para a produção. Ou seja, pode-se afirmar que eficácia é tão somente a capacidade de uma unidade produtiva atingir uma meta de produção, ou objetivo pretendido.

Por exemplo, uma fábrica de calçado tem como meta produzir diariamente 500 pares de calçados. Se ela consegue produzir esses 500 pares, pode-se dizer que ela está sendo eficaz no que foi proposto. Porém, se for conhecido os recursos de que dispunha, pode-se avaliar se ela está sendo produtiva ou não, e, além disso, sabendo dos resultados da produção de outras fábricas de calçados, pode-se avaliar se ela está sendo eficiente ou não.

Em resumo, a eficácia se preocupa apenas com a quantidade produzida. Entretanto, o maior interesse está na razão entre o que se produziu e o que se gastou para produzir, que é chamado de produtividade (MELLO et al., 2005).

Segundo Batista (2009), a produtividade é a medida de desempenho mais tradicional e geralmente é atribuído que quanto maior a produtividade, melhor o desempenho de uma unidade produtiva.

Assim, pode-se definir matematicamente a produtividade da seguinte forma:

$$\text{Produtividade} = \frac{\text{Produto}}{\text{Insumo}} \quad (2.3)$$

“O conceito de produtividade sugere que o insumo esteja sendo utilizado da melhor forma possível, ou seja, sem excesso (FERREIRA; GOMES, 2009, p. 23)”.

A Equação (2.3) é conhecida como medida de produtividade parcial. Para Batista (2009, p. 24), o ideal seria usar uma medida de produtividade total, no qual são considerados todos os atores do processo. Desta forma, pode-se definir, matematicamente, a medida da produtividade total para m insumos e n produtos, como:

$$\text{Produtividade total} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Produto}_i \cdot u_i}{\sum_{j=1}^m \text{Insumo}_j \cdot v_j} \quad (2.4)$$

Onde:

- u_i é o peso da i -ésimo produto ($i=1, \dots, n$);
- v_j é o peso da j -ésimo insumo ($j=1, \dots, m$);
- n é o número total de produtos;
- m é o número total de insumos.

Os pesos u_i e v_j podem ser atribuídos conforme a importância do produto ou insumo em questão, podendo representar os custos de aquisição dos insumos e os preços dos produtos. Esses pesos são normalmente escolhidos de forma subjetiva pelo decisores.

O conceito de produtividade pode ser usado para comparar diversas unidades produtivas semelhantes e investigar a razão de uma unidade não ser tão produtiva em relação à outra. Mello et al. (2005), afirma que uma unidade é mais produtiva que outra devido ao fato de ter tomado decisões que lhe permitem um aproveitamento melhor dos seus insumos.

Vale ressaltar que a maior produtividade de uma unidade produtora decorre, quase sempre, de alguma decisão tomada por parte de seus gestores, como, por exemplo, a contratação de mão-de-obra mais qualificada, investimento em tecnologias de ponta, apoio à pesquisa científica, entre outras. Desse fato, uma unidade produtora será chamada de unidade tomadora de decisão (UTD), ou ainda DMU (sigla em inglês de *Decision Making Unit*).

Para Batista (2009, p. 31) uma UTD, não precisa ser necessariamente uma unidade tomadora de decisão, podendo ser as mais variadas possíveis, tais como universidades, departamentos, escolas, hospitais, prefeituras, municípios, etc.

Logo, pode-se afirmar que o conceito de eficiência está ligado à comparação entre a produtividade de várias unidades.

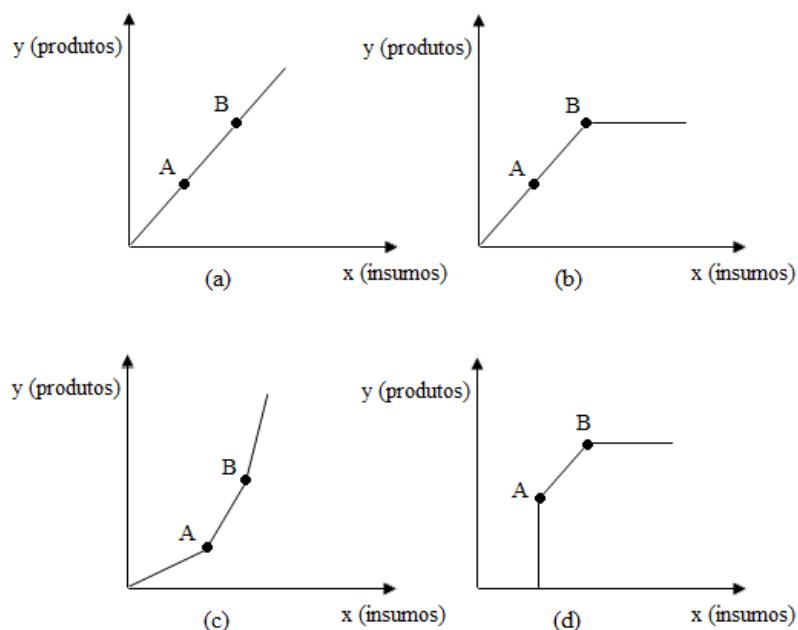
Eficiência é um conceito relativo. Compara o que foi produzido, dado os recursos disponíveis, com o que poderia ter sido produzido com os mesmos recursos. Há importantes distinções na forma de avaliar a quantidade mencionada. Os chamados

métodos paramétricos supõem uma relação funcional pré-definida entre os recursos e o que foi produzido. Normalmente, usam médias para determinar o que poderia ter sido produzido (MELLO et al., 2005).

Pode-se medir a eficiência de uma UTD por meio de uma análise detalhada da relação existente entre todos os seus insumos e produtos obtidos. A relação entre insumos e produtos é denominada retornos de escala. Banker (1983, p. 36), afirma que o conceito de retornos de escala está diretamente relacionado com a estimativa dos mais produtivos tamanhos de escala.

Por meio da Figura 2.3 podem-se ver graficamente os vários tipos de retorno de escala.

Figura 2.3 – Retornos de escala: (a) Retorno constante; (b) Retorno não crescente; (c) Retorno não decrescente; (d) Retorno variável



Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Assim, os retornos de escala podem ser:

- Retornos constantes de escala: quando os insumos (entradas) aumentam ou diminuem em uma mesma proporção dos produtos (saídas);
- Retornos não crescentes de escala: quando os insumos (entradas) são multiplicados por um fator $X > 1$, então os produtos (saídas) serão multiplicados por um fator $Y \leq X$;
- Retornos não decrescentes de escala: quando os insumos (entradas) são multiplicados por um fator $X > 1$, os produtos (saídas) são multiplicados por um fator $Y \geq X$;

- Retornos variáveis de escala: quando os insumos (entradas) são multiplicados por um fator $x > 1$, os produtos (saídas) pode seguir qualquer comportamento em relação a esse fator.

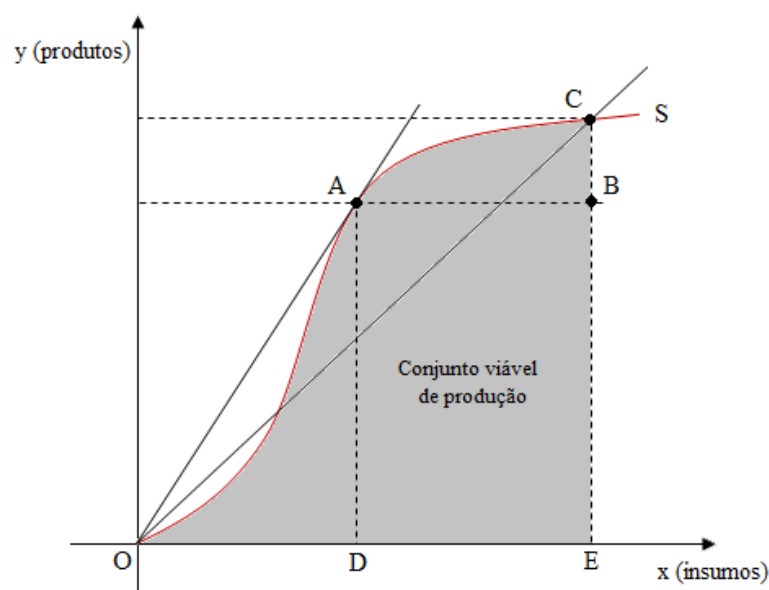
O método AED não faz nenhuma relação funcional entre os recursos utilizados, ou insumos (*inputs*), e os bens produzidos, produtos (*outputs*), considerando que a máxima produção de uma UTD pode ser obtida por meio das informações das UTDs mais produtivas. Dessa forma, pode-se dizer que a AED é um método de análise não paramétrico.

Segundo Ferreira; Gomes (2009, p. 23), os modelos AED são baseados em sólidos fundamentos da teoria da produção microeconômica se revelando como uma poderosa ferramenta de avaliação de desempenho relativo de UTDs.

Dado um conjunto de insumos empregados na fabricação de produtos, então a função de produção define uma relação ideal para a produção da quantidade máxima de produtos a partir de determinados insumos (EL-MAHGARY, p. 20, 1995).

Na Figura 2.4 o eixo x representa os insumos, ou recursos, e o eixo y representa os produtos de uma determinada produção. A curva S (em vermelho) indica o máximo que foi produzido para cada nível de recurso, sendo chamada de Fronteira de Eficiência, enquanto a área OACEO abaixo da curva S é chamada de Conjunto Viável de Produção e todo ponto localizado nessa região representa uma atividade produtiva.

Figura 2.4 – Curva de um processo produtivo



Fonte: Elaboração do autor, 2014.

É possível mostrar a diferença entre os conceitos de produtividade e eficiência por intermédio da Figura 2.4. As unidades A e C são consideradas eficientes, pois estão localizados na fronteira de eficiência (curva S), porém A é uma unidade mais produtiva do que a C. Este fato pode ser observado comparando os coeficientes angulares das retas OA e OC.

Um ponto sobre a fronteira de eficiência indica a quantidade máxima de produtos para um dado nível de insumo, ou quantidade mínima de insumos necessária para atingir um nível estabelecido de produção.

Geometricamente a unidade mais produtiva é aquela cuja reta que a liga a origem possui o maior coeficiente angular possível. A unidade A é a mais produtiva e o coeficiente angular da reta OA é dada pela derivada da função produção em relação aos recursos.

Para Ferreira; Gomes (2009, p. 29), uma UTD é considerada eficiente quando a mesma atinge o máximo de produção possível, dada a tecnologia/processo de produção utilizado.

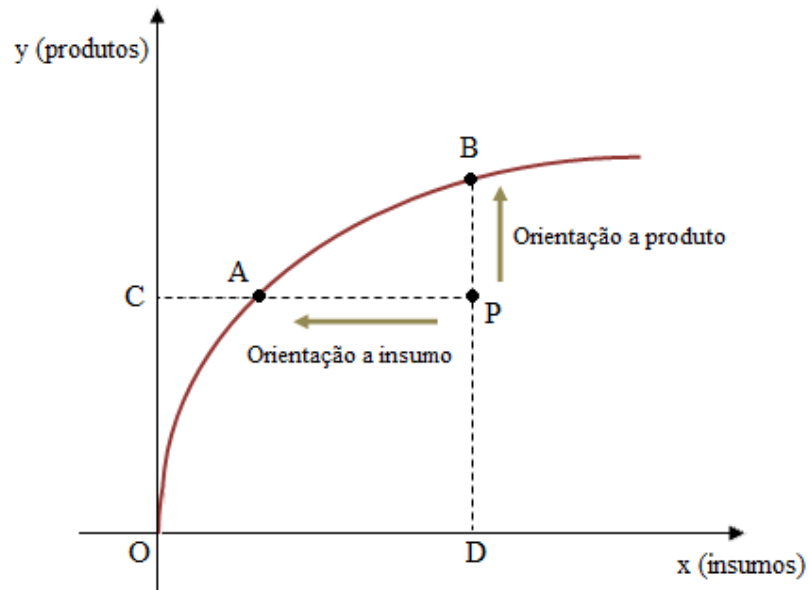
A tecnologia é o conjunto de conhecimentos, especialmente científicos, que se aplicam a um certo ramo de atividade. Uma tecnologia constitui-se de diversos processos de produção, ou seja, de combinações entre insumos para transformá-los em produtos (FERREIRA; GOMES, 2009, P. 40).

A unidade B (ver Figura 2.4) é simultaneamente uma unidade não produtiva e não eficiente. Porém, existem duas escolhas para transformar uma unidade ineficiente, como a B, em uma unidade eficiente:

1. Deslocar o ponto B até o ponto A, reduzindo a quantidade de insumos utilizados e mantendo a produção constante. Esta escolha é chamada de orientação a insumo, ou orientação a *input*.
2. Deslocar o ponto B até o ponto C, aumentando a quantidade de produtos e mantendo a quantidade de insumos constante. Esta escolha é chamada de orientação a produto, ou orientação a *output*.

Através da Figura 2.5 pode-se ver que a unidade não eficiente P deve se deslocar por uma linha horizontal até A, orientação a insumo, ou por uma linha vertical até B, orientação a produto, para tornar-se eficiente.

Figura 2.5 – Orientações a insumo e a produto da unidade produtiva P



Fonte: Elaboração do autor, 2014.

A eficiência, para o caso da orientação a insumo, pode ser definida pelo quociente CA/CP , sendo um número compreendido entre 0 e 1. Em AED pode-se dizer que a eficiência orientada a insumo faz referência à quantidade de insumos que podem ser reduzidos sem com isso se tenha uma diminuição da produção. No caso da orientação a produto, a eficiência é definida pelo quociente DP/DB que também está compreendido entre 0 e 1.

2.3.3 Introdução a AED

A AED pode ser definida como uma técnica de programação linear matemática que permite que se faça a avaliação do grau de eficiência produtiva de várias unidades produtivas, chamadas de UTD, onde serão considerados os insumos de que se dispõe com os produtos alcançados.

O AED é uma metodologia que permite uma análise de características específicas de produção, tais como a eficiência e os rendimentos de escala, sendo muito útil na aplicação em organizações sem fins lucrativos e situações de produção complexa (BANKER et al., 1986, p. 31).

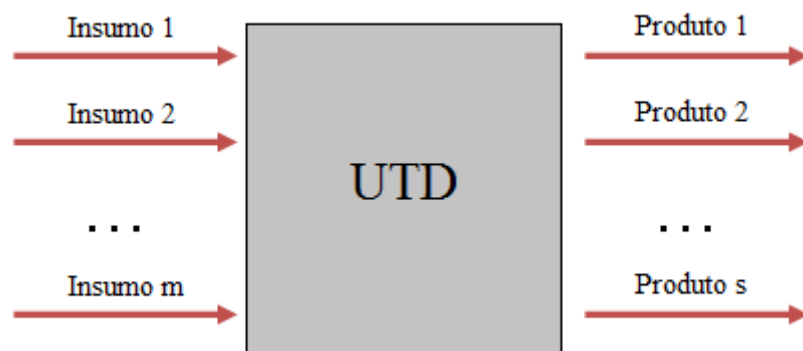
Banker (1993, p. 1272) afirma que análise por envoltória de dados se desenvolveu como uma metodologia de programação matemática para análise da eficiência relativa de unidades envolvidas em processos de produção semelhantes. Neste trabalho, o autor fornece também uma base formal estatística esta avaliação de eficiência.

A programação matemática é composta basicamente de três componentes básicos, a saber:

1. A função-objeto, que é uma função linear de variáveis de decisão, que deve ser otimizada (maximizada ou minimizada);
2. As restrições, que tratam das relações de interdependência entre as variáveis de decisão, sendo expressas por um conjunto de equações e/ou inequações lineares;
3. Variáveis do modelo, que deverão assumir valores positivos ou nulos.

Os elementos que compõe as aplicações AED devem ser detalhados, de modo que uma UTD possui os insumos, referentes aos recursos empregados na produção, e os produtos, referentes à produção obtida, como mostrado na Figura 2.6.

Figura 2.6 – Elementos da UTD



Fonte: Elaboração do autor, 2014.

É muito importante ressaltar o fato de que em uma análise por envoltória de dados, as unidades a serem avaliadas devem possuir a mesma natureza, tendo o mesmo conjunto de insumos e produtos. Desta forma, devem ser comparados universidades com universidades, escolas com escolas, cidades com cidades, indústrias com indústrias, etc.

Os modelos AED permitem, então, uma análise da eficiência de várias UTDs que possuem vários insumos e produtos, por meio da construção de uma fronteira de eficiência, linear por partes. As melhores relações “produtos/insumos” são consideradas mais eficientes e estão situadas nesta fronteira, enquanto as menos eficientes estarão situadas em uma região abaixo desta fronteira, denominada de envoltória convexa.

A característica desses modelos de se poderem considerar ao mesmo tempo vários insumos e produtos, sem qualquer suposição sobre a distribuição dos dados, pode ser considerada como uma grande vantagem (JI; LEE, 2010, p. 268).

Pode-se afirmar que o princípio básico da análise por envoltória de dados é o de comparar o desempenho de unidades que realizam tarefas similares entre si, considerando a relação entre entrada e saída, de modo que seja possível identificar as unidades mais eficientes e as menos eficientes.

As DMUs são comparadas de acordo com o conceito de eficiência de Farrell, que consiste na razão entre a soma ponderada dos *outputs* y e a soma ponderada dos *inputs* x de cada DMU (SOUZA; WILHELM, 2009, p. 132).

Ferreira; Gomes (2009, p. 64), alerta para o seguinte fato: “Os modelos DEA referem-se às eficiências relativas do conjunto de dados analisados e não determinam eficiências absolutas”.

A medida da eficiência relativa de uma unidade irá depender do modelo AED empregado, sendo essa medida determinada por três componentes: a superfície envoltória, a orientação e os pesos das variáveis (ALI et al., 1995, p. 462).

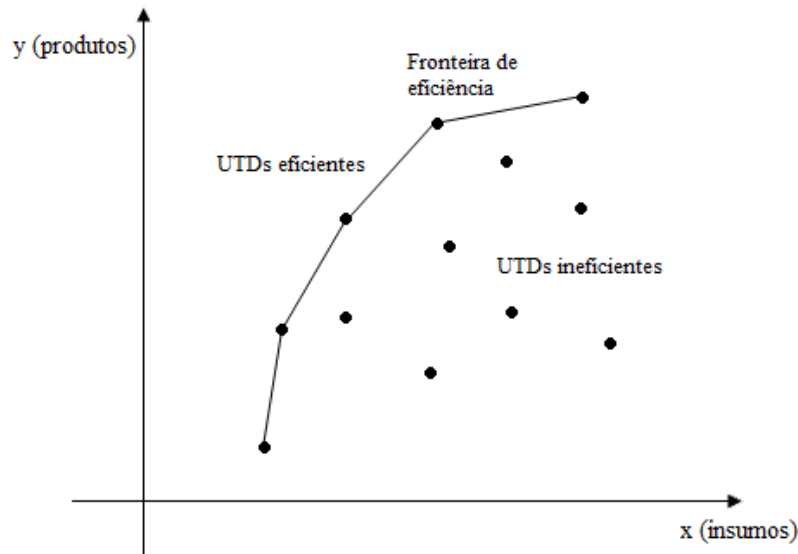
As unidades tidas como eficientes servem de referência para outras unidades consideradas ineficientes, de modo que essas unidades ineficientes estabeleçam objetivos a serem alcançados com a finalidade de melhorarem as suas performances aumentando assim as suas eficiências.

Como a análise por envoltória de dados premia as unidades que apresentam as melhores relações “produtos/insumos” então, ela pode ser considerada como uma abordagem que mede a excelência.

Então, o objetivo do método consiste em otimizar individualmente cada uma das observações formando uma fronteira de eficiência, definida segundo o conceito de Pareto-Koopmans. Segundo Gomes (1995, p. 19), uma unidade é eficiente quando uma tentativa de melhorar qualquer de suas entradas ou saídas irá afetar negativamente outras entradas ou saídas.

De acordo com este conceito é possível identificar uma fronteira de eficiência, linear por partes e com característica convexa, onde as UTDs eficientes estão localizadas nesta fronteira, enquanto as UTDs ineficientes estão abaixo desta fronteira, como ilustrado na Figura 2.7.

Figura 2.7 – Fronteira de eficiência



Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Como visto anteriormente, os pontos abaixo da fronteira de eficiência, que representam as UTDs ineficientes do conjunto, devem ser projetados em direção a fronteira de eficiência. Assim, as UTDs ineficientes devem alcançar suas parceiras eficientes, chamadas de *benchmarks*, das seguintes maneiras:

- Através da minimização das entradas, sem diminuição das saídas;
- Através da maximização das saídas, sem aumentar as entradas.

Então, conforme Souza; Wilhelm (2009, p. 131), um modelo por análise por envoltória de dados gera como resultado:

Uma superfície envoltória que identifica as DMUs eficientes e ineficientes; Uma medida de eficiência métrica para cada DMU (à distância da fronteira, a fonte e o grau de ineficiência); Uma projeção da DMU sobre a fronteira; Um conjunto-referência (unidades específicas contra as quais uma DMU particular está sendo comparada).

Segundo Ferreira; Gomes (2009, p. 53), Farrel, na tentativa de definir uma medida única de eficiência que considerasse diversos insumos, propôs os seguintes conceitos básicos:

Eficiência técnica: reflete a habilidade de uma firma obter a máxima produção a partir de um conjunto dado de insumo. Eficiência alocativa: reflete a habilidade de uma firma utilizar os insumos em proporções ótimas, dados os seus respectivos preços, minimizando os custos. Finalmente, essas duas medidas de eficiência são combinadas para se obter uma medida final de Eficiência econômica total.

Os modelos de AED orientados apresentam diferenças quanto a determinação da medida de eficiência, que pode ser voltado ao espaço dos produtos ou voltado ao espaço dos insumos. Então, quanto à orientação, os modelos EAD podem ser classificados em dois tipos, a saber:

1. Orientação à entrada (insumo): medida que se fundamenta na redução dos insumos.
2. Orientação à saída (produto): medida que se fundamenta no aumento dos produtos.

Na orientação a insumo, o principal objetivo de uma unidade ineficiente avaliada é ganhar eficiência reduzindo o excesso de consumo de insumos, mantendo a produção constante. Enquanto na orientação a produto, o principal objetivo de uma unidade ineficiente avaliada é ganhar eficiência aumento a sua produção, mantendo o consumo de insumos constante (ALI et al., 1995, p. 468).

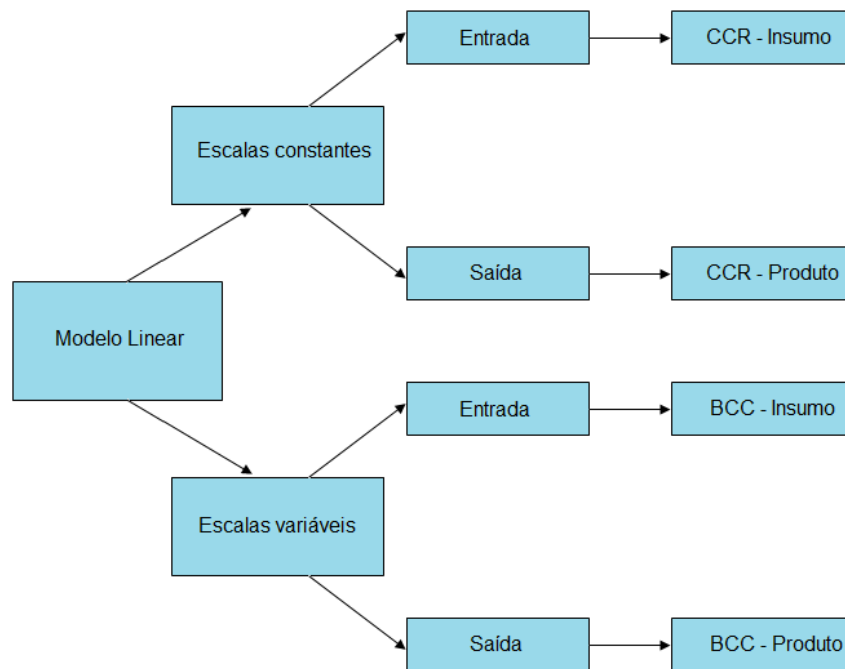
Vale salientar que os índices de eficiência são medidas comparativas entre as UTDs analisadas. Neste caso, se uma nova UTD for acrescentada na análise, então esses índices deverão ser recalculados, podendo obter resultados diferentes.

Assim, os modelos de análise por envoltória de dados podem ser tanto orientados a insumo como orientados a produto. Nos modelos orientados a insumo se admitem constantes as produções, enquanto os insumos variam de modo a atingir a fronteira de produção eficiente. Por outro lado, nos modelos orientados a produto, são os insumos que permanecem constantes, enquanto as produções variam de modo a atingir a fronteira de produção.

Graficamente, nos modelos orientados a insumo, o objetivo é o máximo movimento em direção à fronteira de eficiência por intermédio da redução de recursos, mantendo constante a produção. Enquanto, nos modelos orientados a produto, o objetivo é o máximo movimento em direção à fronteira de eficiência, por intermédio do aumento da produção mantendo constantes os recursos (ver Figura 2.5). Esses modelos podem considerar também rendimentos constantes e variáveis de escala.

Na Figura 2.8, tem-se uma ilustração da classificação dos modelos AED que podem ser usados para analisar a eficiência de um conjunto de unidades produtivas especificadas.

Figura 2.8 – Classificação dos modelos EAD



Fonte: Elaboração do autor, 2014.

A metodologia AED para análise de eficiência pode ser composta basicamente dos seguintes estágios:

1. Seleção das UTDs;
2. Definição dos insumos e produtos;
3. Escolha e aplicação do modelo;
4. Análise e interpretação dos resultados.

O número de UTDs deve ser grande o suficiente quando comparada com a quantidade de insumos e produtos. Alguns autores recomendam que esse número deve ser superior ao dobro da quantidade de insumos e produtos.

Em seguida será feita uma breve descrição desses dois modelos tradicionais AED, o modelo CCR e o modelo BCC, tanto orientados a insumo como orientados a produto.

2.3.3.1 Modelo CCR

A metodologia AED teve início com o trabalho publicado por Charnes; Cooper e Rhodes (1978) que avaliou a eficiência de programas escolares no Estado do Texas – USA, ficando como modelo CCR e sendo desenvolvido originalmente com uma orientação a entrada.

O modelo CCR foi o primeiro modelo EAD tendo como base o trabalho de M. J. Farrel de 1957. Segundo Casado (2007, p. 66), este modelo constrói uma superfície linear por partes, não paramétrica, envolvendo os dados de insumo e de produtos.

“Usando programação linear, busca-se para cada DMU, maximizar o quociente entre a soma ponderada das saídas e a soma ponderada das entradas, utilizando como variáveis de decisão os pesos (BATISTA, 2009, p. 31)”.

O modelo CCR trabalha com retornos constantes de escala, sendo, portanto, também conhecido como CRS (sigla em inglês de *Constant Returns to Scale*). Neste modelo, qualquer variação nos insumos gera uma variação proporcional nos produtos.

Este modelo determina a eficiência técnica por meio da otimização da relação entre a soma ponderada dos produtos e a soma ponderada dos insumos (FERREIRA; GOMES, 2009, p. 68).

O modelo permite que seja atribuído um conjunto de pesos (ou multiplicadores), ou seja, foi definido que cada UTD teria a capacidade de definir o seu próprio conjunto de pesos, na tentativa de maximizar a sua medida de eficiência. Entretanto, uma única condição deve ser satisfeita, que é a que todas as UTDs tenham uma eficiência igual ou inferior a unidade. Desta forma, as unidades eficientes terão uma medida de eficiência igual a 1, enquanto as ineficientes terão a medida de eficiência inferior a 1.

Assim, suponha que existam n UTDs, que utilizam m insumos e s produtos. Dessa forma, os fatores de entrada e saída, utilizado para a avaliação, de cada uma das $j=1, \dots, n$ UTDs são selecionados atendendo aos seguintes critérios:

1. Os dados de cada insumo e produto devem ser positivos;
2. Os fatores e a escolha das UTDs devem refletir o interesse dos analistas;
3. As unidades de medidas dos insumos e produtos podem ser diferentes.

Para calcular a eficiência de cada UTD em um modelo CCR podem-se usar tanto medidas orientadas a insumo (entrada) como medidas orientadas a produto (saída), conforme definidas anteriormente.

No modelo CCR orientado a insumo, para encontrar os pesos uma determinada unidade objeto UTD_0 deve-se resolver o seguinte problema matemático:

$$\max E_{fo} = \frac{\sum_{i=1}^s u_i y_{io}}{\sum_{j=1}^m v_j x_{jo}} \quad (2.5)$$

Sujeito a:

$$\frac{\sum_{i=1}^s u_i y_{ik}}{\sum_{j=1}^m v_j x_{jk}} \leq 1 \quad (k=1, \dots, n) \quad (2.6)$$

$$u_i \geq 0, \quad i=1, 2, \dots, s; \quad v_j \geq 0, \quad j=1, 2, \dots, m$$

Onde:

- E_{fo} é a taxa de eficiência relativa da UTD_o;
- y_{ik} e x_{jk} 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.
- y_{io} e x_{jo} são as quantidades de produto i e de insumo j da UTD sendo testada, respectivamente;
- n é o número de unidades;
- s e m são os números de produtos e de insumos, respectivamente.

A solução dessa programação matemática resulta valores para as variáveis u_i e v_j que maximizam a medida de eficiência da UTD_o. Assim, a escolha dos pesos irá ser de fundamental importância na medida da eficiência de cada UTD.

Vale salientar que o próprio método seleciona o conjunto de pesos que maximizam a eficiência de cada unidade analisada, sob a condição de que nenhum peso deve ser negativo e a que eficiência medida de cada unidade avaliadas não exceda a unidade. Então, pode-se afirmar que o objetivo do método é o de obter o maior índice de eficiência para cada UTD em análise.

A estrutura matemática desses modelos permite que uma DMU seja considerada eficiente com vários conjuntos de pesos. Em particular, podem ser atribuídos pesos zeros a algum *input* ou *output*, o que significa que essa variável foi desconsiderada na avaliação (MELLO et al., 2005).

Esse método maximiza a eficiência de uma UTD_O, de forma que o conjunto de pesos dessa UTD será aplicado nas demais UTDs. Desta forma, uma unidade só será considerada eficiente se nenhuma outra unidade conseguir atingir a medida 1 para a eficiência utilizando os mesmos pesos.

Segundo Batista (2009, p. 32), se uma UTD não alcançar a unidade, implica que outra UTD utilizando o mesmo conjunto de pesos atinge a eficiência máxima. Assim, o índice de eficiência obtido é relativo às UTDs analisadas. Assim, pode-se afirmar que a medida de eficiência obtida é uma medida relativa ao conjunto analisado.

Vale ressaltar que se o modelo atribuir o peso igual a zero para algum insumo ou produto de uma determinada UTD, significa que essa variável foi desconsiderada na avaliação desta unidade.

O problema apresentado nas Equações (2.5) e (2.6) é de programação matemática fracionada (PMF), possuindo infinitas soluções. Assim, para que esse problema seja resolvido em cada UTD ele deve ser transformado em um problema de programação matemática linear (PML), de modo a obter uma única solução para a eficiência relativa de cada UTD.

Isto pode ser feito igualando o denominador a 1 e maximizando o numerador da Equação (2.5), resultando no seguinte problema matemático:

$$\max E_{fo} = \sum_{i=1}^s u_i y_{io} \quad (2.7)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^m v_j x_{jo} = 1$$

$$\sum_{i=1}^s u_i y_{ik} - \sum_{j=1}^m v_j x_{jk} \leq 0 \quad (k=1, \dots, n) \quad (2.8)$$

$$u_i \geq 0, \quad i=1, 2, \dots, s; \quad v_j \geq 0, \quad j=1, 2, \dots, m$$

Esse problema de programação linear apresentado pode ser chamado de Modelo dos Multiplicadores, também chamado de Primal, com orientação a insumo. Mello et al. (2005), afirma que essa denominação de orientação a insumo se deve ao fato da eficiência ser alcançada por meio da redução dos recursos.

Uma modelagem alternativa para este modelo orientado insumo é o modelo dual da programação linear, também chamado de modelo envoltório, que é dado pelo seguinte problema:

$$\min \theta \quad (0 \leq \theta \leq 1) \quad (2.9)$$

Sujeito a:

$$\theta x_{jo} - \sum_{k=1}^n \lambda_k x_{jk} \geq 0 \quad (j=1,2,\dots,m)$$

$$\sum_{k=1}^n \lambda_k y_{ik} - y_{io} \geq 0 \quad (i=1,\dots,s) \quad (2.10)$$

$$\lambda_k \geq 0, \quad k=1,2,\dots,n$$

Se no modelo dos multiplicadores, orientado a insumo, as variáveis de decisão são os pesos u_i e v_j , no modelo envoltório, orientado a insumo, são o θ e os pesos λ_k .

“No modelo envoltório, a medida de eficiência representada pelo escalar θ deve ser multiplicada por todos os insumos para colocar a DMU na fronteira eficiente, por meio de decréscimos nos valores dos insumos (FERREIRA; GOMES, p. 73)”.

Os modelos dos multiplicadores e envoltório são equivalentes entre si. Segundo Gomes et al. (2012a, p. 564), o modelo multiplicador trata da relação das somas ponderadas de produtos e insumos com pesos escolhidos de modo a se tornar mais favorável a cada UTD, sujeita a determinadas condições, enquanto que o modelo envoltório define uma região viável de produção e trabalha com projeções para cada UTD nesta fronteira.

Em seguida serão apresentadas as formulações dos modelos CCR orientado a produto. Como visto anteriormente nos modelos orientados a produtos, devem-se maximizar as saídas mantendo as entradas inalteradas. Desta forma, o modelo CCR orientado a produto, na forma fracionária, se apresenta da seguinte forma matemática:

$$\min E_{fo} = \frac{\sum_{j=1}^m v_j x_{jo}}{\sum_{i=1}^s u_i y_{io}} \quad (2.11)$$

Sujeito a:

$$\frac{\sum_{j=1}^m v_j x_{jk}}{\sum_{i=1}^s u_i y_{ik}} \geq 1 \quad (k=1, \dots, n) \quad (2.12)$$

$$u_i \geq 0, \quad i=1, 2, \dots, s; \quad v_j \geq 0, \quad j=1, 2, \dots, m$$

O problema apresentado pelas Equações (2.11) e (2.12), pode ser transformado em um problema de programação linear, resultando no modelo de multiplicadores (primal), orientado a produto, que é dado por

$$\min E_{fo} = \sum_{j=1}^m v_j x_{jo} \quad (2.13)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^s u_i y_{io} = 1$$

$$\sum_{i=1}^s u_i y_{ik} - \sum_{j=1}^m v_j x_{jk} \leq 0 \quad (k=1, \dots, n) \quad (2.14)$$

$$u_i \geq 0, \quad i=1, 2, \dots, s; \quad v_j \geq 0, \quad j=1, 2, \dots, m$$

Em seguida tem-se o modelo dual da programação linear, também chamado de modelo envoltório (dual), orientado a produto, que se apresenta por meio do seguinte problema matemático:

$$\max \phi \quad (1 \leq \theta \leq \infty) \quad (2.15)$$

Sujeito a:

$$x_{jo} - \sum_{k=1}^n \lambda_k x_{jk} \geq 0 \quad (j=1,2,\dots,m)$$

$$\sum_{k=1}^n \lambda_k y_{ik} - \phi y_{io} \geq 0 \quad (i=1,\dots,s) \quad (2.16)$$

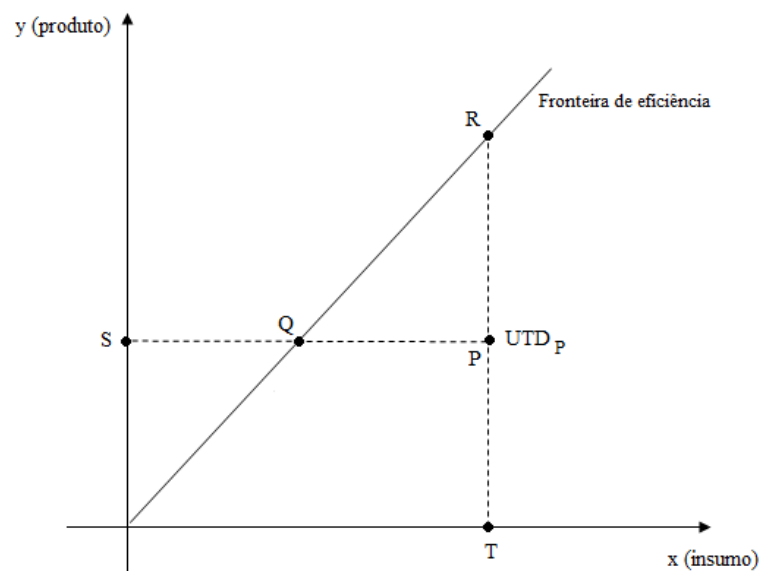
$$\lambda_k \geq 0, \quad k=1,2,\dots,n$$

Se no modelo dos multiplicadores, orientado a produto, as variáveis de decisão são os pesos u_i e v_j , no modelo envoltório, orientado a produto, são o ϕ e os pesos λ_k . Vale observar que θ , definida na Equação (2.9), ϕ , definido na Equação (2.15), são tais que

$$\theta = \frac{1}{\phi}.$$

Podem-se mostrar graficamente as medidas das eficiências orientadas a insumo e a produto por meio da Figura 2.9.

Figura 2.9 – Medida de eficiência do modelo CCR



Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Conforme ilustrado, a UTD_P é uma unidade não eficiente, pois a mesma não se localiza na fronteira de eficiência. Então, para que esta UTD se torne eficiente ela deve-se deslocar ou por uma linha horizontal até o ponto Q ou através de uma linha vertical até o ponto R. Na mesma figura, tem-se que a distância \overline{QP} representa a ineficiência técnica da

UTD_P (ponto P). Segundo Ferreira; Gomes (2009, p. 56) essa ineficiência técnica resulta da utilização excessiva dos insumos.

Em seguida, a eficiência técnica da UTD_P orientada a entrada pode ser expressa através da seguinte proporção:

$$ET_{\text{insumo}} = \frac{\overline{SQ}}{\overline{SP}} \quad (2.17)$$

Do fato de que $\overline{SQ} = \overline{SP} - \overline{QP}$, tem-se que

$$ET_{\text{insumo}} = 1 - \frac{\overline{QP}}{\overline{SP}} \quad (2.18)$$

o que implica que $0 \leq ET_{\text{insumo}} \leq 1$.

A eficiência técnica orientada a insumo com valor igual a 1 indica que a UTD é totalmente eficiente do ponto de vista técnico. Enquanto, um valor igual a 0 indica uma UTD totalmente ineficiente.

Analogamente, conforme a Figura 2.9, a ineficiência técnica da UTD_P pode ser representada pelo segmento de reta \overline{PR} . Para Ferreira; Gomes (2009, p. 59), essa ineficiência é resultante da produção escassa dos produtos.

Logo a eficiência técnica da UTD_P orientada a produto pode ser expressa pela seguinte proporção:

$$ET_{\text{produto}} = \frac{\overline{TP}}{\overline{TR}} \quad (2.19)$$

Como $\overline{TP} = \overline{TR} - \overline{PR}$, então, pode-se chegar ao seguinte resultado, para a eficiência da UTD_P,

$$ET_{\text{produto}} = 1 - \frac{\overline{PR}}{\overline{TR}} \quad (2.20)$$

implicando que $0 \leq ET_{\text{produto}} \leq 1$.

Assim, a eficiência técnica orientada a produto igual a 1 indica que a UTD é totalmente eficiente do ponto de vista técnico. Por outro lado, um valor igual a 0 indica uma UTD totalmente ineficiente.

Pode-se mostrar que os resultados em (2.18) e (2.20) são numericamente iguais, $ET_{insumo} = ET_{produto}$. Isto se deve ao fato de que as relações entre insumos e produtos serem proporcionais.

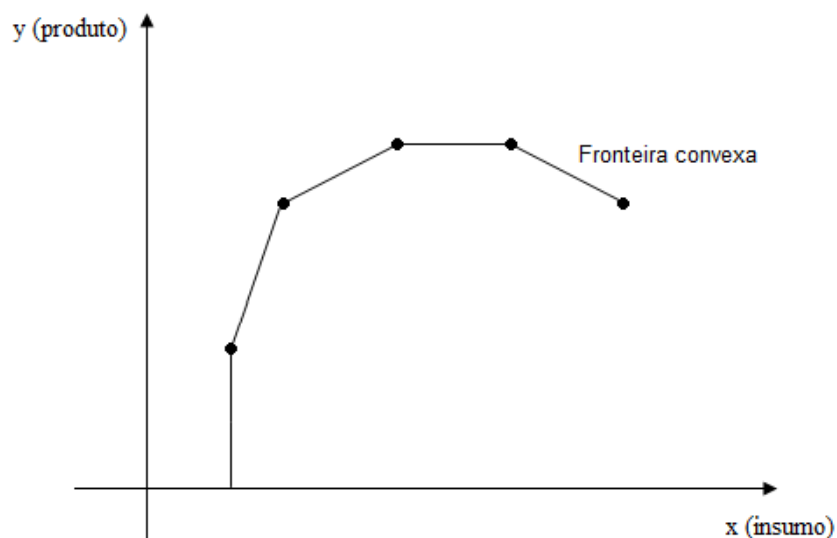
Nos modelos CCR, a eficiência técnica orientada a insumo de qualquer unidade analisada que não esteja sobre a fronteira de possibilidades de produção é sempre igual à eficiência técnica orientada a produto. (FERREIRA; GOMES, 2009, p. 55).

2.3.3.2 Modelo BCC

Este modelo foi desenvolvido por Banker, Charnes e Cooper (1984) onde os retornos de escala são considerados variáveis, sendo conhecido como modelo BCC, em homenagem aos autores. Este modelo também é conhecido como VRS (sigla em inglês de *Variable Returns to Scale*).

Diferentemente do modelo CCR, o modelo BCC passa a admitir tecnologias com retornos variáveis de escalas, resultando em uma fronteira de eficiência formada por combinações convexas de unidades eficientes, como ilustrado por meio da Figura 2.10. o modelo BCC adota o axioma de convexidade em lugar da proporcionalidade do modelo CCR.

Figura 2.10 – Fronteira convexa de eficiência do modelo BCC

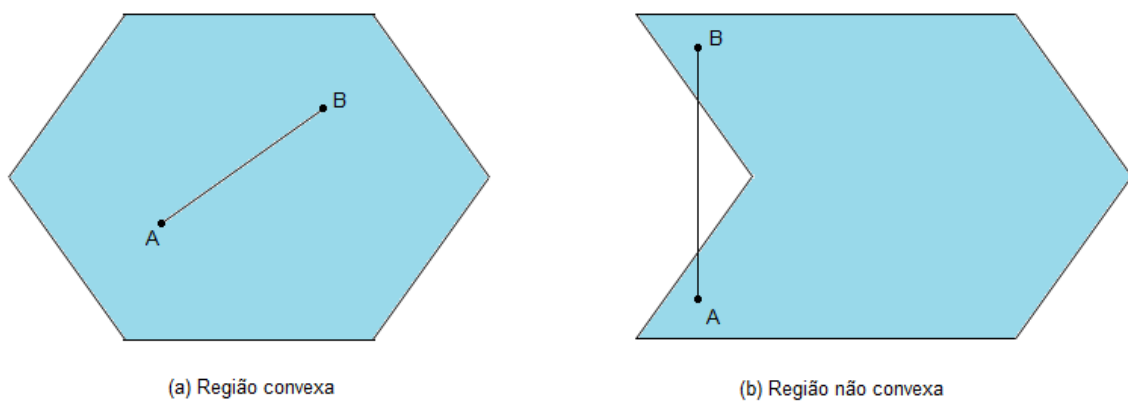


Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Conforme a Figura 2.10 pode-se verificar que abaixo da fronteira de eficiência forma-se uma região convexa, onde se apresentam todas as unidades analisadas que são consideradas como ineficientes.

Matematicamente, uma região convexa é aquela região que apresenta a seguinte propriedade: se dois pontos quaisquer estão na região, então, o segmento de reta que une esses pontos também está contido nesse conjunto. Na Figura 2.11 apresenta uma ilustração de uma região convexa, em (a), e uma região não convexa, em (b).

Figura 2.11 – Região convexa e não convexa



Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Conforme ilustrado por meio da Figura 2.11, pode-se observar que em (a), quaisquer dois pontos que sejam considerados, por exemplo, A e B, o segmento de reta AB que une esses pontos está todo contido nessa região. O mesmo não ocorre em (b), pois apesar dos pontos A e B estarem contidos no interior da região, o segmento de reta AB não está completamente contido na região.

Para Belloni (2000, p. 68), o índice de eficiência técnica do modelo BCC permite a separação do componente associado à ineficiência de escala da ineficiência produtiva. Assim, se for desconsiderada a escala de produção, este modelo permite a avaliação de UTDs de diferentes portes.

Este modelo surgiu como uma forma de eficiência que é resultado da divisão do modelo CCR em duas componentes: a eficiência técnica e a eficiência de escala. A medida da eficiência técnica, resultante do modelo BCC, identifica o uso correto dos insumos à escala de operação da UTD, enquanto a medida da eficiência de escala é igual a razão das eficiências BCC e CCR, dando uma medida da distância da UTD analisada até uma UTD fictícia, operando com o tamanho da escala de maior produtividade.

A suposição de retornos constante do modelo CCR é relaxada para retornos variáveis no modelo BCC, por meio da adição de uma variável real livre u_* , para a orientação a insumo, e v_* , para orientação a produto.

Neste caso, o modelo BCC, orientado a insumo é dado da seguinte forma:

$$\max E_{fo} = \sum_{i=1}^s u_i y_{i0} + u_* \quad (2.21)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^m v_j x_{j0} = 1$$

$$\sum_{i=1}^s u_i y_{ik} - \sum_{j=1}^m v_j x_{jk} + u_* \leq 0 \quad (k=1, \dots, n) \quad (2.22)$$

$$u_i \geq 0, \quad i=1, 2, \dots, s; \quad v_j \geq 0, \quad j=1, 2, \dots, m; \quad u_* \in \mathbb{R}$$

Se $u_* \geq 0$, o modelo apresenta rendimentos de escala não decrescente (RND), enquanto se $u_* \leq 0$, o modelo apresenta rendimentos de escala não crescente (RNC). No caso do modelo BCC orientado a produto, tem-se

$$\min E_{fo} = \sum_{j=1}^m v_j x_{j0} + v_* \quad (2.23)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^s u_i y_{i0} = 1$$

$$\sum_{i=1}^s u_i y_{ik} - \sum_{j=1}^m v_j x_{jk} + v_* \leq 0 \quad (k=1, \dots, n) \quad (2.24)$$

$$u_i \geq 0, \quad i=1, 2, \dots, s; \quad v_j \geq 0, \quad j=1, 2, \dots, m; \quad v_* \in \mathbb{R}$$

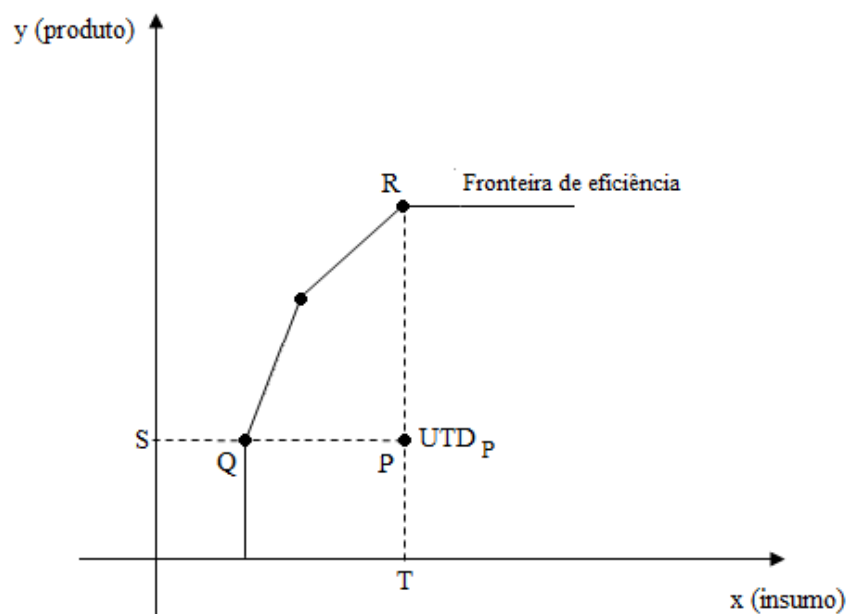
Se $v_* \geq 0$, o modelo apresenta rendimentos de escala não crescente (RNC), por outro lado, se $v_* \leq 0$, o modelo apresenta rendimentos de escala não decrescente (RND).

Em resumo, essas duas variáveis, u_* e v_* , podem ser interpretadas como fatores de escala, da seguinte forma:

- Variáveis positivas indicam retornos crescentes de escala;
- Variáveis negativas indicam retornos decrescentes de escala;
- Variáveis nulas indicam retornos constantes de escala.

Analogamente, ao que fora feito para o modelo CCR, pode-se mostrar graficamente as medidas das eficiências técnicas orientadas a insumo e a produto. Considere, então, a Figura 2.12 que mostra a UTD_p como sendo uma unidade que apresenta ineficiência.

Figura 2.12 – Medida de eficiência do modelo BCC



Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Assim, a UTD_p , localizada no ponto P, para se tornar eficiente pode se mover por uma linha horizontal até o ponto Q, ou através de uma linha vertical até o ponto R. Essas duas orientações são, respectivamente, a orientação a insumo e a orientação a produto. Pode-se mostrar que a eficiência técnica orientada a insumo é dada por

$$ET_{\text{insumo}} = 1 - \frac{\overline{QP}}{\overline{SP}} \quad (2.25)$$

implicando que $0 \leq ET_{\text{insumo}} \leq 1$. Enquanto, a eficiência técnica orientada a produto é dada por

$$ET_{\text{produto}} = 1 - \frac{\overline{\text{PR}}}{\overline{\text{TR}}} \quad (2.26)$$

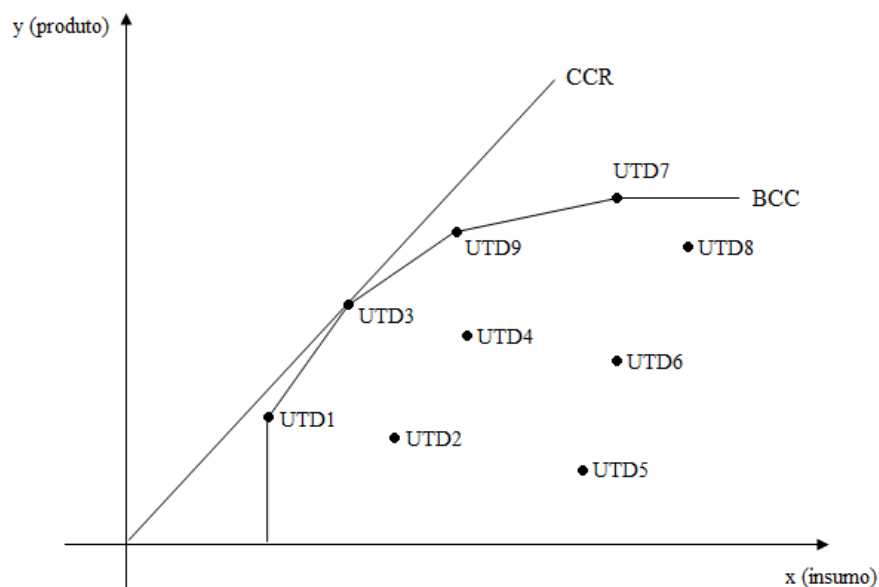
implicando que $0 \leq ET_{\text{produto}} \leq 1$.

Por intermédio da Figura 2.12 pode-se verificar que as medidas das eficiências técnicas orientadas a insumo, Equação (2.25), e a produto, Equação (2.26), em um modelo BCC são diferentes, ou seja, $ET_{\text{insumo}} \neq ET_{\text{produto}}$.

“O modelo BCC é menos restritivo que o modelo CCR. Uma unidade eficiente no modelo CCR será também eficiente no modelo BCC, porém o inverso não é verdadeiro (BATISTA, 2009)”.

Em seguida, pode-se observar por meio da Figura 2.13 uma ilustração gráfica um comparativo entre os modelos CCR e BCC, que apresentam as fronteiras de eficiências para um mesmo conjunto de unidades avaliadas.

Figura 2.13 – Comparação entre os modelos CCR e BCC



Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Pode-se ver por desta Figura 2.13 que a UTD3 ela é uma unidade eficiente tanto para o modelo CCR (retornos constantes) com para o modelo BCC (retornos variáveis). Pode ainda ser demonstrado graficamente que devido ao fato de que as fronteiras de eficiência para os modelos CCR e BCC serem diferentes, tem-se que para uma mesma UTD o índice de

eficiência no modelo BCC é maior ou igual ao índice no modelo CCR, no caso da orientação a insumo.

Semelhante ao modelo CCR, o modelo BCC também pode ser apresentado como um modelo envoltório (dual). Assim, o modelo BCC orientado a insumo é dado pelo seguinte problema

$$\min \theta \quad (0 \leq \theta \leq 1) \quad (2.27)$$

Sujeito a:

$$\theta x_{jo} - \sum_{k=1}^n \lambda_k x_{jk} \geq 0 \quad (j=1, 2, \dots, m)$$

$$\sum_{k=1}^n \lambda_k y_{ik} - y_{io} \geq 0 \quad (i=1, \dots, s) \quad (2.28)$$

$$\lambda_k \geq 0 \quad (k=1, 2, \dots, n); \quad \sum_{k=1}^n \lambda_k = 1$$

No caso em que $\sum_{k=1}^n \lambda_k \geq 1$, o modelo apresenta rendimentos não decrescentes de

escala, enquanto se $\sum_{k=1}^n \lambda_k \leq 1$, o modelo apresenta rendimentos não crescentes de escala. Da

mesma forma, tem-se o modelo BCC orientado a produto da seguinte forma

$$\max \phi \quad (1 \leq \phi \leq \infty) \quad (2.29)$$

Sujeito a:

$$x_{jo} - \sum_{k=1}^n \lambda_k x_{jk} \geq 0 \quad (j=1, 2, \dots, m)$$

$$\sum_{k=1}^n \lambda_k y_{ik} - \phi y_{io} \geq 0 \quad (i=1, \dots, s) \quad (2.30)$$

$$\lambda_k \geq 0 \quad (k=1, 2, \dots, n); \quad \sum_{k=1}^n \lambda_k = 1$$

Analogamente, se $\sum_{k=1}^n \lambda_k \geq 1$, o modelo apresenta rendimentos não decrescentes de

escala, enquanto se $\sum_{k=1}^n \lambda_k \leq 1$, o modelo apresenta rendimentos não crescentes de escala.

Em resumos, esse somatório $\sum_{k=1}^n \lambda_k$ pode ser interpretado como fatores de escala,

da seguinte forma:

- Se o somatório for positivo indica retornos crescente de escala;
- Se o somatório for negativo indica retornos decrescente de escala;
- Se o somatório for nulo indica retornos constantes de escala.

Os modelos CCR e BCC podem ser considerados na literatura como modelos AED clássicos, porém são encontrados na bibliografia outros modelos que são variações desses dois modelos. Os principais modelos AED e as suas principais características são mostrados no Quadro 2.2.

Quadro 2.2 – Comparativo entre os modelos matemáticos AED

Modelo	Retorno à escala	Forma da fronteira
Aditivo	Variável	Linear por partes
Multiplicador variante	Variável	Cobb-Douglas por partes
Multiplicador invariante	Constante	Log-linear por partes
BCC	Variável	Linear por parte
CCR	Constante	Reta de 45°

Fonte: Mariano et al. (2006).

Conforme apresentado no Quadro 2.2 a fronteira de eficiência em uma análise por envoltória de dados pode assumir várias formas diferentes de acordo com o modelo AED que seja utilizado.

3 – METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentada a metodologia utilizada para analisar a eficiência relativa da cobrança pela água bruta nas categorias de uso da indústria, do abastecimento público e da irrigação nas bacias hidrográficas do Estado do Ceará utilizando um modelo de análise por envoltória de dados (AED).

A metodologia deste trabalho se divide em três etapas, a saber:

1. Uma descrição da área de estudo;
2. Fatores sugeridos para comparação do desempenho entre os setores de uso de recursos hídricos;
3. Modelo para a análise por envoltória de dados.

3.1 Área de estudo

O Estado do Ceará está localizado na região Nordeste do Brasil, limitando-se ao Norte com o Oceano Atlântico, ao Sul com o Estado de Pernambuco, a Leste com os Estados do Rio Grande do Norte e da Paraíba e a Oeste com o Estado do Piauí.

A área total do Ceará é de aproximadamente 149 mil km², equivalendo a cerca de 9,57% do território nordestino e 1,74% do território brasileiro. Desta forma, o Ceará é em extensão territorial, o quarto Estado do Nordeste e o 17º Estado do Brasil.

“O Estado do Ceará possui 86,8% do seu território inserido na região do semi-árido brasileiro conforme a Portaria nº 89, de março de 2005, do Ministério da Integração Nacional (CEARÁ, 2008)”.

O Estado está dividido atualmente em doze bacias hidrográficas, a saber: Bacia Metropolitana, Bacia do Acaraú, Bacia do Alto Jaguaribe, Bacia do Baixo Jaguaribe, Bacia do Médio Jaguaribe, Bacia do Banabuiú, Bacia do Coreaú, Bacia do Curu, Bacia do Litoral, Bacia do Salgado, Bacia da Serra da Ibiapaba e Bacia dos Sertões de Crateús, como ilustrado na Figura 3.1.

Figura 3.1 – Mapa dos CBHs do Estado do Ceará



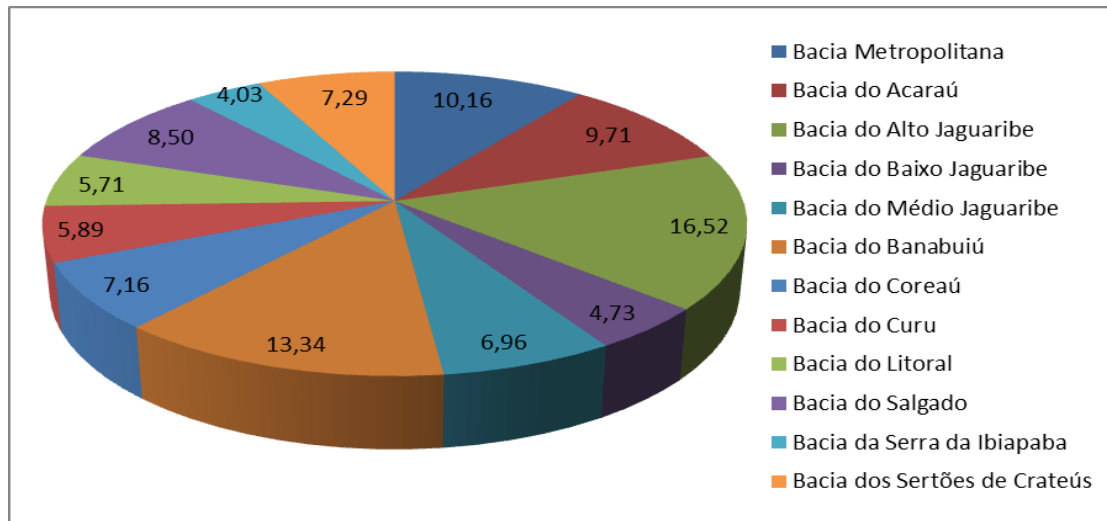
Fonte: Portal COGERH².

A sazonalidade e a intermitência das precipitações no Estado do Ceará, somado a uma elevada taxa de evapotranspiração, acarretam em uma perda excessiva de água em quantidade, reduzindo assim a qualidade das águas estaduais.

Em seguida, por intermédio da Figura 3.2, pode-se ver os percentuais das áreas de cada bacia hidrográfica em relação com a área total do Estado. A bacia do Alto Jaguaribe é a maior bacia em extensão territorial com uma área de 24.538 km², o que representa aproximadamente 16,52% do Estado do Ceará. Essa bacia juntamente com as bacias do Médio Jaguaribe, Baixo Jaguaribe, Salgado e Banabuiú, formam a bacia hidrográfica do rio Jaguaribe, que representa sozinha cerca de metade do território cearense.

² Disponível em: <portal.cogerh.com.br/eixos-de-atuacao/gestao-participativa/comites-de-bacias> Acesso em: 22/04/2014.

Figura 3.2 – Percentual da área de cada bacia hidrográfica cearense em relação ao Estado do Ceará



Fonte: Elaboração do autor, 2014³

Dessas 12 bacias hidrográficas, até o presente momento 10 bacias apresentam um Comitê de Bacia Hidrográfica – CBH já criado.

Na Tabela 3.1 mostram-se os CBHs criados no Estado do Ceará, com informações adicionais, como a norma de criação, a área, a população e número de municípios abrangidos pela respectiva bacia.

Tabela 3.1 – Comitês de bacia hidrográficas criados no Estado do Ceará

Comitê	Norma – Criação	Área	População	Municípios
CBH do Rio Alto Jaguaribe	Decreto nº 26.603/02	24.600	498.000	24
CBH do Rio Médio Jaguaribe	Decreto nº 25.391/99	10.500	203.000	13
CBH do Rio Baixo Jaguaribe	Decreto nº 25.391/99	6.900	229.000	9
CBH do Rio Banabuiú	Decreto nº 26.435/01	19.300	501.000	13
CBH do Rio Curu	Lei nº 11.996/92	8.500	206.000	15
CBH do Rio Salgado	Decreto nº 26.603/02	12.900	869.000	23
CBH da Região Metropolitana de Fortaleza	Decreto nº 26.902/03	15.100	3.840.000	39
CBH do Rio Acaraú	Decreto nº 27.64704	14.400	723.000	27
CBH do Rio Coreaú	Decreto nº 28.233/06	10.700	322.000	20
CBH do Litoral	Decreto nº 28.233/06	8.600	311.000	10

Fonte: Agência Nacional de Águas, 2013⁴.

³ CEARÁ, 2009.

⁴ Disponível em: www.cbh.gov.br/DataGrid/GridCeará.aspx. Acesso em: 10/12/2013.

De acordo com a Tabela 3.1, apenas as bacias hidrográficas da Serra da Ibiapaba e a dos Sertões de Crateús não possuem CBHs criados. Essas duas bacias foram desmembradas da bacia do Parnaíba, também conhecida como Poti-Longá, por meio da Resolução do CONERH nº 03, de 17 de novembro de 2011. Porém, deve-se salientar que ainda não há informações disponíveis para essas duas bacias individualmente.

No Estado do Ceará cada comitê de bacia é formado por representantes do governo, da sociedade civil e dos usuários dos recursos hídricos da bacia, com a seguinte distribuição de participação: 30% de usuários; 40% da sociedade civil; 20% do poder público municipal; e 20% do poder público estadual/federal.

Vale lembrar que as informações das bacias dos Sertões de Crateús e da Serra da Ibiapaba não se encontram separadas. Neste caso as informações dessas duas bacias se encontram na bacia do Parnaíba.

O Pacto das Águas, elaborado entre 2007 e 2009 pelo Conselho de Altos Estudos da Assembleia Legislativa do Estado do Ceará, foi o resultado de um intenso processo de discussão com a sociedade cearense, com o principal objetivo de garantir água em quantidade, qualidade e regularidade para a atual e as futuras gerações.

O produto resultante do Pacto das Águas foi o Plano Estratégico dos Recursos Hídricos do Ceará, além de onze Cadernos Regionais das Bacias Hidrográficas do Estado do Ceará até então. Os Cadernos Regionais são documentos que reúnem resumidamente informações vitais para orientar o planejamento das ações necessárias para cada bacia hidrográfica do Estado. Dentre essas informações, têm-se as demandas as disponibilidades hídricas, superficiais e subterrâneas, de cada bacia hidrográfica.

Na Tabela 3.2 apresentam-se as disponibilidades hídricas, tanto superficiais como subterrâneas, de todas as bacias hidrográficas do Estado do Ceará, antes do desmembramento da bacia do Parnaíba nas bacias dos Sertões de Crateús e da Serra da Ibiapaba. Conforme pode nesta tabela a disponibilidade superficial total no Estado é de 127,84 m³/s, o que representa quase 92% da disponibilidade total do Estado, que é de 139,41 m³/s.

Tabela 3.2 – Disponibilidade hídrica nas bacias hidrográficas do Estado do Ceará

Bacia Hidrográfica	Disponibilidade Hídrica (m ³ /s)		
	Superficial	Subterrâneo	Disponibilidade
Bacia do Acaraú	11,87	0,52	12,39
Bacia do Banabuiú	20,58	1,08	21,66
Bacia do Coreaú	2,92	0,30	3,22
Bacia do Curu	11,53	0,29	11,82
Bacia do Alto Jaguaribe	21,22	0,52	21,74
Bacia do Médio Jaguaribe	31,68	0,20	31,88
Bacia do Baixo Jaguaribe	0,66	0,89	1,55
Bacia do Litoral	0,80	0,35	1,15
Bacia Metropolitana	17,70	2,92	20,62
Bacia do Parnaíba	6,49	0,45	6,94
Bacia do Salgado	2,39	4,05	6,44
Total	127,84	11,57	139,41

Fonte: Elaboração do autor, 2014⁵.

Em seguida na Tabela 3.3 são apresentadas as demandas hídricas para a indústria, o abastecimento público e a irrigação nas bacias hidrográficas do Estado do Ceará.

Tabela 3.3 – Demanda hídrica por categoria de uso nas bacias hidrográficas do Estado do Ceará

Bacia Hidrográfica	Demanda Hídrica (m ³ /s)			Demanda total
	Abastecimento	Indústria	Irrigação	
Bacia do Acaraú	1,10	0,06	6,21	7,37
Bacia do Banabuiú	0,32	0,23	8,75	9,30
Bacia do Coreaú	0,50	0,02	0,09	0,61
Bacia do Curu	0,31	0,23	2,63	3,17
Bacia do Alto Jaguaribe	0,35	0,11	0,45	0,91
Bacia do Médio	0,13	0,05	4,90	5,08
Bacia do Baixo Jaguaribe	0,23	0,21	1,72	2,16
Bacia do Litoral	0,20	0,15	0,02	0,37
Bacia Metropolitana	7,48	7,99	0,74	16,21
Bacia do Parnaíba	0,52	0,01	0,00	0,53
Bacia do Salgado	0,85	0,15	2,53	3,53
Total	11,99	9,21	28,04	49,24

Fonte: Elaboração do autor, 2014⁶.

⁵ CEARÁ, 2008.

Analisando os dados das Tabelas 3.2 e 3.3 pode-se concluir que no Ceará há um balanço hídrico global favorável, porém, devido à sazonalidade das chuvas no espaço territorial, tem-se uma má distribuição dos recursos hídricos, o que provoca uma insegurança hídrica em todo o Estado.

O gerenciamento da oferta hídrica, tanto superficial como subterrânea, no Estado do Ceará é realizado pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará – COGERH, criada em 18 de novembro de 1993, por meio da Lei nº 12.217.

3.2 Fatores de avaliação

O uso de indicadores está cada vez mais presente em um processo de tomada de decisão. A finalidade do uso de indicadores é o de construir cenários futuros com a intenção de apoiar decisões a serem tomadas pelos gestores, onde são traçadas metas e ações a serem alcançadas em um determinado período de tempo.

O aumento da capacidade de quantificar fenômenos, processos e produtos, a complexidade das situações analisadas e a velocidade com que as mudanças acontecem, tudo estimula o uso de indicadores, valores que sintetizam dados, permitem o acompanhamento de um quadro local, regional ou nacional e informam um conjunto de decisões a respeito do mesmo (MARANHÃO, 2007, p. 35).

Dois ou mais indicadores podem ser agregados e um único índice que compreendem dados, variáveis ou valores que representam um conjunto de informações de um sistema ou região, tal como uma bacia hidrográfica.

Os indicadores e índices podem ser considerados como ferramentas indispensáveis no auxílio em um processo de tomada de decisão e em uma gestão participativa, como é o caso do gerenciamento dos recursos hídricos em uma bacia e a aplicação dos seus instrumentos, tais como a cobrança pelo uso da água bruta.

Serão usados neste trabalho fatores para medir o desempenho de cada UTD que estão relacionados ao instrumento da cobrança pelo uso da água bruta no Estado Ceará. Optou-se por usar medidas relativas (percentuais e taxas relativas) para a composição dos fatores para a avaliação.

⁶ CEARÁ, 2008.

Assim, em cada fator será sugerido uma medida (percentual ou taxa) que medirá a eficiência de cada UTD. Os parâmetros usados para compor essas medidas, em cada setor usuário (indústria, abastecimento, ou irrigação) das bacias hidrográficas, são:

- Número total de usuários de recursos hídricos;
- Número total de usuários faturados com a cobrança;
- Número de usuários faturados que estão regularmente outorgados pela SRH;
- Volume total consumido durante o ano;
- Volume total outorgado durante o ano;
- Faturamento total anual com a cobrança pelo uso da água;
- Arrecadação total anual com a cobrança pelo uso da água;
- Disponibilidade hídrica;
- Demanda hídrica.

Em seguida será feita uma descrição de todos os critérios de avaliação adotados para medir o desempenho dos principais setores de uso das bacias hidrográficas do Estado (indústria, abastecimento e irrigação) referente ao instrumento de cobrança.

3.2.1 Usuários faturados e não faturados

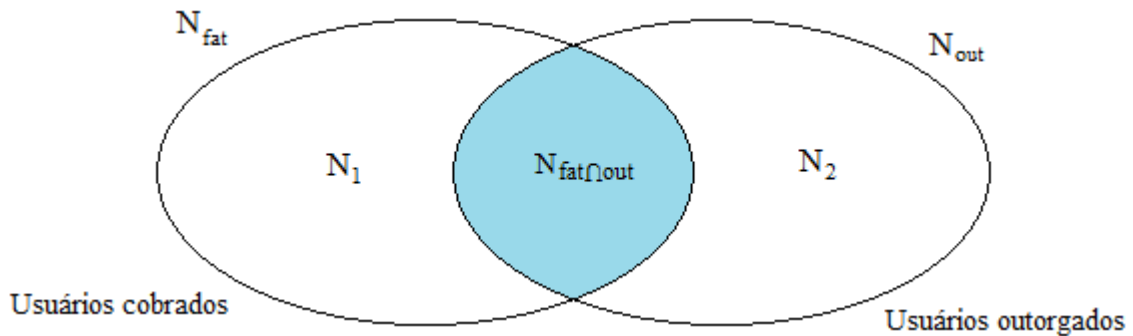
Os instrumentos de outorga pelo direito de uso da água e a cobrança pelo uso da água bruta podem ser considerados complementares, de forma que a outorga anteceda à cobrança. Segundo a Lei nº 14.844/2010, todo usuário faturado com a cobrança deve estar regularmente outorgado pelo Estado, porém, o que se ver na prática não é bem isso.

Na análise dos dados da COGERH referentes à cobrança e à outorga verificaram-se, em cada categoria de uso nas bacias hidrográficas do Estado do Ceará, as seguintes situações:

1. Usuários que possuem outorgas emitidas, mas ainda não estão faturados;
2. Usuários que pagam pelo uso da água, mas que não estão outorgados;
3. Usuários que ao mesmo tempo estão outorgados e pagam pelo uso da água.

As situações descritas podem ser ilustradas por meio da Figura 3.3 utilizando a teoria matemática dos conjuntos.

Figura 3.3 – Usuários outorgados e faturados



Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Por intermédio da Figura 3.3, pode-se observar que dentre os usuários faturados com a cobrança pelo uso da água, indicado por N_{fat} , existe uma parcela que não possui outorgas, onde a quantidade de usuários dessa parcela é indicada por N_1 . De modo análogo, dentre os usuários que possuem outorgas, indicado por N_{out} , existem uma quantidade de usuários que ainda não estão faturados, indicados por N_2 .

Da teoria dos conjuntos, tem-se que a quantidade total de usuários de recursos hídricos por categoria de uso K , indicado por $N_{total(K)}$, em uma bacia hidrográfica, é dada pela fórmula:

$$N_{total(K)} = N_{fat(K)} + N_{out(K)} - N_{fat \cap out(K)} \quad (3.1)$$

Onde:

- $N_{fat(K)}$ é a quantidade total de usuários faturados com a cobrança por setor usuário K ;
- $N_{out(K)}$ é a quantidade total de usuários outorgados por setor usuário K ;
- $N_{fat \cap out(K)}$ é a quantidade total de usuários que estão ao mesmo tempo faturados e outorgados, por setor usuário K .

O ideal seria que todos os usuários de recursos hídricos de uma categoria de uso K , de uma determinada bacia hidrográfica, estivessem faturados e também outorgados. Assim, pode-se afirmar que quanto menor a quantidade de usuários de recursos hídricos faturados, menor a arrecadação com a cobrança pelo uso da água bruta e menos eficiente está sendo o instrumento de cobrança.

Então, quanto maior a quantidade de usuários de recursos hídricos de uma categoria de uso que pagam pelo consumo de água bruta, maior pode ser considerada eficiência dessa categoria de uso.

A medida para esse fator será dada pelo Percentual de Usuários não Faturados, indicado por PUF_K , para cada setor de uso considerado na pesquisa nas bacias hidrográficas, dado pela expressão matemática:

$$PUF_K = 1 - \frac{N_{fat(K)}}{N_{total(K)}} \quad (3.2)$$

Onde:

- K representa cada um dos setores de uso: indústria, abastecimento público ou irrigação;
- $N_{fat(K)}$ é a quantidade total de usuários faturados com a cobrança por setor usuário K;
- $N_{total(K)}$ é a quantidade total de usuários de recursos hídricos por setor usuário K.

O termo dado pela Equação (3.2) irá indicar dentre os usuários de recursos hídricos cadastrados para o setor K, o percentual que ainda não estão sendo faturados com a cobrança pela água bruta pela COGERH.

A situação idealizada é aquela de máxima eficiência, no qual PUF_K é igual à zero, ou seja, em que todos os usuários do setor estão sendo faturados. A situação indesejada seria aquela de ineficiência máxima onde PUF_K seria igual a unidade, ou seja, nenhum usuário cadastrado está sendo faturado.

3.2.2 Usuários outorgados e não outorgados

O instrumento de outorga do direito de uso da água em uma bacia hidrográfica tem o objetivo de regular o consumo dos recursos hídricos de uma bacia, de modo a contribuir para o uso racional e equilibrado desses recursos. Por lei, o acionamento, por parte de um usuário de recursos hídricos do Estado do Ceará, da outorga implica uma cobrança pela água efetivamente consumida.

Segundo o Artigo 1º do Decreto nº 31.195/2013, é estabelecido que:

A cobrança pelo uso dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos de domínio do Estado do Ceará ou da União por delegação de competência decorrerá da outorga de direito de seu uso, emitida pela Secretaria de Recursos Hídricos, e será efetivada de acordo com o estabelecido neste Decreto, objetivando viabilizar recursos para as atividades de gestão dos recursos hídricos, para obras de infraestrutura operacional do sistema de oferta hídrica, bem como incentivar a racionalização da água.

A legislação do Estado do Ceará de recursos hídricos afirma que a cobrança pelo uso da água só poderá ser realizada para os usuários de uma bacia hidrográfica que estejam outorgados junto a SRH.

Na teoria todos os usuários de recursos hídricos que estão faturados deveriam possuir outorgas emitidas junto a SRH, de modo a justificar a retirada e a cobrança pela água. Porém, como visto anteriormente, o que se vê na prática é bem diferente, existindo usuários que pagam pelo uso da água, mas que não possuem permissão (outorga) para realizar a retirada de água.

Vale salientar que um dos objetivos da outorga é o de controle do uso da água. Então, a presença de usuários que pagam pela água sem possuírem outorgas pode ser considerada como uma ineficiência do instrumento de cobrança, no que diz respeito ao objetivo de incentivar o uso racional da água, além de ser uma inadequação com a legislação em vigência.

Assim, quanto maior a quantidade de usuários faturados que possuem outorgas emitidas, para cada setor de uso de uma bacia, mais eficiente está sendo esse instrumento a vista do arcabouço legal referente aos recursos hídricos.

A medida para esse fator será dada pelo Percentual de Usuários não Outorgados, indicado por PUO_K , para cada setor de uso considerado na pesquisa nas bacias hidrográficas, dados pela equação:

$$PUO_K = 1 - \frac{N_{fat \cap out(K)}}{N_{fat(K)}} \quad (3.3)$$

- K representa cada um dos setores de uso: indústria, abastecimento público ou irrigação;
- $N_{fat \cap out(K)}$ é quantidade de usuários faturados que apresentam outorgas emitidas pelo Estado, por cada setor usuário K ;

- $N_{\text{fat}(K)}$ é a quantidade total de usuários faturados com a cobrança por setor usuário K.

O termo dado pela Equação (3.3) irá indicar dentre os usuários que estão faturados com a cobrança pela água bruta de uma categoria de uso, a porcentagem de usuários que não apresentam outorgas emitidas pela SRH.

A eficiência máxima de um setor usuário K ocorre quando PUO_K é igual a zero, isto é, quando todos os usuários faturados apresentam outorgas emitidas pela SRH. Neste caso, pode-se dizer que para esta categoria de uso o sistema está sendo satisfatório.

No caso em que o setor de uso apresenta o índice PUO_K igual a unidade, implica nenhum usuário faturado possui outorga emitida pela SRH, se apresentando então como uma ineficiência máxima.

3.2.3 Volume total consumido por usuário

O conhecimento sobre onde, como e quanta água é usada em uma bacia é vital para o gerenciamento de seus recursos hídricos (MARANHÃO, 2007, p. 234). Assim, um indicador de uso em uma bacia deve informar a quantidade de água é realmente utilizada em um período considerado.

A cobrança paga por um determinado usuário de recursos hídricos é diretamente proporcional ao seu volume efetivamente consumido. Logo, pode-se afirmar que o faturamento total de uma categoria de uso em uma bacia hidrográfica está diretamente ligado ao volume total consumido.

Para quantificar esse fator será usado o Volume Médio Consumido, em $m^3/\text{usuário}$, indicado por VMC_K , dado pela razão entre volume total consumido pela quantidade de usuários faturados. Isto é,

$$VMC_K = \frac{V_{\text{cons}(K)}}{N_{\text{fat}(K)}} \quad (3.4)$$

Onde:

- K representa cada um dos setores de uso: indústria, abastecimento público ou irrigação;
- $V_{\text{cons}(K)}$ é volume total consumido pelo setor usuário K durante o ano, em m^3 ;

- $N_{\text{fat}(K)}$ é a quantidade total de usuários faturados com a cobrança por setor usuário K.

O termo dado pela Equação (3.4) tem uma unidade igual a $\text{m}^3/\text{usuários}$, representando o volume médio efetivamente consumido (água consumida) por usuário do setor de uso K de uma determinada bacia hidrográfica.

3.2.4 Usuários com consumo não aceitável

Se um usuário utilizar uma pequena parcela do seu volume outorgado, ele estará deixando o restante como uma espécie de “reserva de água”. Assim, a reserva de água por parte de um usuário será definida como a diferença entre o volume consumido e o volume outorgado por esse usuário.

Em uma bacia hidrográfica não é desejável que um usuário tenha uma grande reserva de água, mesmo que se pague por ela, pois essa reserva pode inviabilizar a emissão de novas outorgas, por parte de novos usuários ou da expansão do empreendimento de usuários existentes, uma vez que mesmo existindo disponibilidade de água na bacia o balanço hídrico pode informar o contrário.

Assim, pode-se afirmar que reservas de água por parte de usuários em uma bacia afetam diretamente o uso dos demais usuários, comprometendo desta forma o gerenciamento das águas dessa bacia.

Na metodologia proposta a situação em que um usuário apresenta um consumo muito inferior a sua outorga, acarretando uma grande reserva de água, pode ser considerada como uma ineficiência do sistema de gerenciamento dos recursos hídricos. Outra situação que pode comprometer o gerenciamento dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica, além de comprometer o uso racional da água, é aquela em que um usuário consome um volume superior ao volume outorgado.

Essas duas situações descritas podem ser consideradas como ineficiência para o gerenciamento das águas de uma bacia hidrográfica e conseqüentemente para o instrumento de cobrança pelo uso da água, pois não está havendo um uso racional e equilibrado das águas.

Assim, será definida a Razão de Consumo, indicada por RC, como sendo a razão entre o volume efetivamente consumido pelo usuário e o volume outorgado pelo mesmo junto a SRH. Isto é,

$$RC = \frac{V_{ef}}{V_{out}} \quad (3.5)$$

Onde:

- V_{ef} é o volume efetivamente consumido durante o ano pelo usuário, em m^3 ;
- V_{out} é o volume anual outorgado pelo usuário, em m^3 .

Neste trabalho, os usuários cujo volume consumido, V_{ef} , for muito inferior ou superior ao volume outorgado, V_{out} , serão considerados como ineficientes para o instrumento de cobrança na bacia hidrográfica. Esses usos serão indicados pelo coeficiente RC, definido pela Equação (3.5).

A faixa de consumo aceitável será considerada como aquela em que o volume consumido é maior ou igual a 70% do volume outorgado, ou seja, $V_{ef} \geq 0,7 V_{out}$, ou seja, será considerada como uma folga aceitável aquela que corresponde a 30% do volume outorgado, e menor ou igual ao volume outorgado, ou seja, $V_{ef} \leq V_{out}$.

Vale informar que esse valor de 70% foi sugerido nas reuniões com os técnicos da COGERH, pois se argumentou que valores inferiores a 70% já acarreta uma reserva considerável por parte do usuário.

Desta forma, o consumo aceitável como eficientes está dentro da seguinte faixa:

$$0,7 \leq RC \leq 1,0 \quad (3.6)$$

Consequentemente, fora dessa faixa, dada pela Equação (3.6), será considerada como ineficiência. Para cada setor usuário de uma bacia hidrográfica do Estado, quanto maior o número de usuários com um consumo dentro da faixa dada por esta equação mais eficiente está sendo o instrumento cobrança desse setor.

A medida para esse fator será dada pelo Percentual de Usuários com Consumo não Aceitáveis, indicado por PCA_K , para cada setor de uso, dado pela expressão matemática:

$$PCA_K = 1 - \frac{N_{aceit(K)}}{N_{fat(K)}} \quad (3.7)$$

Onde:

- K representa cada um dos setores de uso: indústria, abastecimento público ou irrigação;
- $N_{\text{aceit}(K)}$ é quantidade de usuários cujo consumo está dentro da faixa de consumo considerada aceitável, dada pela Equação (3.6), por cada setor usuário K ;
- $N_{\text{fat}(K)}$ é a quantidade total de usuários faturados com a cobrança por setor usuário K .

O termo dado pela Equação (3.7) irá indicar dentre os usuários faturados de um setor de uso K , aqueles que apresentam um consumo não aceitável, isto é fora da faixa dada por (3.6) e que pode comprometer o uso racional dos recursos hídricos e os demais usuários do setor.

A eficiência máxima de um setor usuário ocorre quando PCA_K é igual a zero, ou seja, quando todos os usuários apresentam um consumo dentro da faixa definida em (3.6). Ao contrário, se o setor de uso apresenta o índice PCA_K igual a unidade, indica que este setor apresenta uma ineficiência máxima, ou seja, todos os usuários possuem um consumo fora da faixa definida em (3.6).

3.2.5 Relação entre o volume outorgado e o volume consumido

A relação entre o volume outorgado e o volume consumido é um critério muito importante em uma avaliação da eficiência dos instrumentos de uma política de recursos hídricos, tais como a outorga, devido ao fato desse instrumento ter como objetivo o incentivo ao um consumo racional dos recursos hídricos.

Ao rigor da lei, toda água retirada de um corpo hídrico no Estado, para tanto para o uso consuntivo como o uso não consuntivo, só deve ocorrer caso o usuário possua outorga emitida pela SRH na quantidade definida em sua concessão. Como discutido anteriormente um usuário de uma determinada bacia deve evitar grandes reservas de água ou consumir um volume superior ao que fora outorgado, uma vez que essas situações podem impactar sobre novos usuários e os outros usuários existentes.

Um setor usuário de uma bacia hidrográfica cujo volume consumido seja superior ao volume outorgado, implica na existência de usuários que apresentam um consumo superior a sua outorga. Assim, esse desacordo com a legislação de recursos hídricos pode ser considerada como uma falha do sistema. Esta situação pode impactar diretamente nos

consumo dos demais setores, comprometendo o gerenciamento das águas e os instrumentos de seu gerenciamento.

O ideal seria que todos os usuários de uma categoria de uso tivessem outorgas, e que o volume total consumido fosse próximo ao volume total outorgado, de tal forma que não houvesse o comprometimento do atendimento a todos os demais usuários setor.

Na prática alguns setores usuários nas bacias do Estado apresentam o volume total consumido superior ao volume total outorgado. Dessa forma, a relação consumo x outorga de pode ser usada para indicar e medir a eficiência do instrumento de cobrança pelo uso da água em cada setor usuário das bacias estaduais.

Assim, será proposta a Taxa de Consumo por Outorga, indicado por TCO_K , para cada setor usuário de uma bacia hidrográfica da seguinte forma:

$$TCO_K = \begin{cases} 1,0 & \text{se } V_{\text{cons}(K)} \geq V_{\text{out}(K)} \\ \frac{V_{\text{cons}(K)}}{V_{\text{out}(K)}} & \text{se } V_{\text{cons}(K)} < V_{\text{out}(K)} \end{cases} \quad (3.8)$$

- K representa cada um dos setores de uso: indústria, abastecimento público ou irrigação;
- $V_{\text{cons}(K)}$ é volume total consumido pelo setor usuário K durante o ano, em m^3 ;
- $V_{\text{out}(K)}$ é o volume total outorgado pelo setor usuário K durante o ano, em m^3 .

O caso de ineficiência máxima ocorre quando o volume consumido total pelo setor de uso K é maior ou igual ao volume outorgado total desse setor. Neste caso, o termo TCO_K será igual a unidade. Essa situação é considerada como indesejada, pois compromete todo o sistema de gerenciamento, podendo afetar o fornecimento de água para outros setores de uso de uma bacia hidrográfica.

3.2.6 Balanço entre disponibilidade x demanda hídrica

A relação entre a disponibilidade hídrica mínima e a demanda total de água em uma bacia pode ser usada como um critério de classificação de áreas críticas em relação à utilização dos recursos hídricos.

Em qualquer análise que se deseje fazer em uma bacia hidrográfica relacionada ao gerenciamento dos recursos hídricos e a aplicação de seus instrumentos de gestão, pode-se considerar este critério como um ponto de partida. Ela corresponde ao volume total de água disponível em uma bacia para aproveitamento em seus múltiplos usos.

“Os indicadores de disponibilidade, reunidos, devem descrever suficientemente a quantidade de água doce existente na bacia, sob as diversas formas com que esta se apresenta ao longo dos diferentes períodos do ano (MARANHÃO, 2007, p. 201)”.

A disponibilidade hídrica de uma bacia hidrográfica é um importante critério de outorga de direito de uso da água, uma vez que a mesma irá refletir a quantidade de vazão ofertada, assegurada pela vazão total regularizada, em relação à vazão total demandada e efetivamente alocada até o presente.

Uma vez que a emissão de outorga remete uma cobrança, então o balanço hídrico (disponibilidade x demanda) de uma bacia hidrográfica pode ser considerado como um critério para se medir a eficiência de um instrumento de gerenciamento, como a cobrança pelo uso da água bruta, em uma bacia hidrográfica.

Quanto mais desconfortável ou desfavorável for o balanço entre demanda x disponibilidade para um determinado setor usuário K, maior o comprometido do fornecimento de água para os demais usos de uma bacia. Desta forma, pode-se considerar que o gerenciamento dos recursos hídricos nessa bacia está sendo ineficiente, pois esse recurso não está sendo usado de forma controlada ou racional. Consequentemente, como não está havendo o consumo racional da água, a cobrança pelo seu uso, também pode ser considerada ineficiente.

Desta forma, pode-se usar um indicador do balanço hídrico nos setores usuários de uma bacia de modo a informar a situação entre a procura e a oferta de água, de forma a se tomar medidas para evitar o comprometimento da oferta para as gerações futuras.

Assim, será proposto neste trabalho o Taxa de Balanço Hídrico, indicado por TBH_K , para cada setor de uso considerado como

$$TBH_K = \begin{cases} 1,0 & \text{se } Q_{dem(K)} \geq Q_{ref} \\ \frac{Q_{dem(K)}}{Q_{ref}} & \text{se } Q_{dem(K)} < Q_{ref} \end{cases} \quad (3.9)$$

Onde:

- K representa cada um dos setores de uso: indústria, abastecimento público ou irrigação;
- $Q_{\text{dem}(K)}$ é a vazão demandada total para o setor usuário K, em m^3/s ;
- Q_{ref} é a vazão de referência, em m^3/s .

Neste trabalho será usada como vazão de referência para cada bacia do Estado, a soma entre a disponibilidade superficial com a disponibilidade subterrânea. A disponibilidade superficial será dada pela vazão regularizada total com garantia de 90%, isto é, com os reservatórios atendendo à demanda em 90% dos meses, Q_{90} , enquanto a subterrânea, será dada pela disponibilidade efetiva dos aquíferos, Q_{aquif} . Assim,

$$Q_{\text{ref}} = Q_{90} + Q_{\text{aquif}} \quad (3.10)$$

Desta forma, substituindo a Equação (3.10) na Equação (3.9) obtém-se

$$\text{TBH}_K = \begin{cases} 1,0 & \text{se } Q_{\text{dem}(K)} \geq Q_{\text{ref}} \\ \frac{Q_{\text{dem}(K)}}{Q_{90} + Q_{\text{aquif}}} & \text{se } Q_{\text{dem}(K)} < Q_{\text{ref}} \end{cases} \quad (3.11)$$

A Equação (3.12) representa a contribuição de cada setor usuário no balanço disponibilidade x demanda, ou oferta x demanda, de uma bacia hidrográfica. Os valores usados nesta equação podem ser obtidos através dos Planos de Bacia ou Plano Estadual de Recursos Hídricos.

Assim, quanto mais próximo de zero for o valor de TBH para um determinado setor de uso maior será a eficiência, assumindo a eficiência máxima em zero. Por outro lado, quando maior for o TBH menor a sua eficiência, assumindo a ineficiência máxima quando este índice for igual a unidade.

3.2.7 Relação entre o faturamento e o consumo

O faturamento total anual com a cobrança pelo uso da água, por setor usuário, é diretamente proporcional ao volume total consumido, sendo igual a soma dos faturamentos

anuais de todos os usuários desse setor. O faturamento de cada usuário, indicado por $T(u)$, pode ser obtido por meio da Equação (2.2).

Dessa forma, o faturamento total anual com a cobrança para o setor K, é dado pela seguinte expressão:

$$\text{Fat}_{\text{total}(K)} = \sum_{i=1}^n T(u)_i \quad (3.12)$$

onde n é a quantidade de usuários faturados.

A relação entre o faturamento total durante o ano, dado pela Equação (3.12), e o volume total efetivamente consumido pode ser um critério usado para comparar os desempenhos da cobrança pelo uso da água entre os vários setores nas bacias cearenses.

Assim, define-se a Taxa de Faturamento por Volume Consumido, indicada por TFVC, dado em R\$/m³, por meio da seguinte expressão:

$$\text{TFVC}_K = \frac{\text{Fat}_{\text{total}(K)}}{V_{\text{cons}(K)}} \quad (3.13)$$

Onde:

- K representa cada um dos setores de uso: indústria, abastecimento público ou irrigação;
- $\text{Fat}_{\text{total}(K)}$ é o faturamento total durante o ano por categoria de uso, em R\$;
- $V_{\text{cons}(K)}$ é volume total consumido pelo setor usuário K durante o ano, em m³.

Note que o índice TFVC, tem como unidade R\$/m³. Este índice indicará o preço, em R\$/ano, do volume de 1,0 m³ de água, por categoria de uso.

3.2.8 Faturamento total por usuário

Como dito anteriormente o faturamento total em uma categoria de uso de uma determinada bacia hidrográfica pode ser dado pela Equação (3.12). O faturamento total em uma bacia indica a quantidade máxima que pode ser arrecadada com o instrumento da cobrança, sendo muito importante o seu conhecimento em termos de gerenciamento.

Assim, o conhecimento sobre faturamento de uma categoria de uso com a cobrança pelo uso da água em uma bacia hidrográfica pode ser considerado como um critério relevante para a comparação com as demais categorias de uso.

A medida para esse fator será dada pelo Faturamento Médio, indicado por FM_K , em R\$/usuário para cada setor de uso considerado na pesquisa nas bacias hidrográficas, dado pela equação:

$$FM_K = \frac{Fat_{total(K)}}{N_{fat(K)}} \quad (3.14)$$

Onde:

- K representa cada um dos setores de uso: indústria, abastecimento público ou irrigação;
- $Fat_{total(K)}$ é o faturamento total durante o ano por categoria de uso, em R\$;
- $N_{fat(K)}$ é a quantidade total de usuários faturados com a cobrança por setor usuário K.

O termo dado pela Equação (3.14) indicará o faturamento total anual por usuário do um setor de uso K de uma determinada bacia do Estado.

3.2.9 Arrecadação total por usuário

A arrecadação anual total, com a cobrança pelo uso da água bruta em cada setor de uso, pode ser um bom indicador do grau de eficiência deste instrumento. A situação ideal seria aquela em que todos os usuários nas bacias, pagassem as suas faturas emitidas durante o ano, ou seja, que não houvesse inadimplência por parte dos usuários. Porém, não se verifica isso na prática.

Uma arrecadação muito inferior ao faturamento em uma bacia pode ser considerada como uma situação indesejada, pois pode não ser suficiente para custear despesas de uma bacia (custos com operação, manutenção e administração) nessa bacia.

A medida para esse fator será dada pela Arrecadação Média, em R\$/usuário, indicada por AM_K , para cada setor de uso considerado na pesquisa nas bacias hidrográficas, dada pela equação:

$$AM = \frac{\text{Arrec}_{\text{total}(K)}}{N_{\text{fat}(K)}} \quad (3.15)$$

- K representa cada um dos setores de uso: indústria, abastecimento público ou irrigação;
- $\text{Arrec}_{\text{total}(K)}$ é a arrecadação total durante o ano, obtida com o pagamento das faturas, em R\$;
- $N_{\text{fat}(K)}$ é a quantidade total de usuários faturados com a cobrança por setor usuário K.

O termo dado pela Equação (3.15) indicará a arrecadação anual total por usuário do setor de uso K de uma determinada bacia hidrográfica do Estado.

3.3 Metodologia de análise por envoltória de dados

A metodologia que está sendo proposta nesta tese, que é a metodologia de análise por envoltória de dados (AED), pode ser considerada como uma metodologia recente, porém bem sedimentada por estudos desenvolvidos em países como no Japão, nos EUA, e na Europa, em várias áreas de conhecimento. Aqui no Brasil, estão disponíveis inúmeros trabalhos científicos relacionados ao uso de AED para medir o desempenho de unidades produtivas.

Abaixo são listados algumas áreas de atuação em que é aplicada a metodologia análise por envoltória de dados para analisar a eficiência de unidades, com respectivos trabalhos publicados:

- Transportes: metrô (NOVAES, 1998); portos (CULLINANE; et al., 2004) e containers em portos (CULLINANE; et al., 2006);
- Indústria: usinas de açúcar (SALGADO JÚNIOR, 2009);
- Agricultura: agricultura familiar (GOMES; et al., 2012a);
- Pecuária: gado de corte (GOMES; et al., 2012b).
- Serviços financeiros: demonstração contábil (KASSAI, 2002) e sistema bancário (MACEDO; et al., 2006);
- Previdência Social: unidades de atendimento do INSS (ADELINA, 2007);

- Saúde: sistema único de saúde (HOLANDA; et al., 2004);
- Educação: universidades brasileiras (BELLONI, 2000), cursos de graduação (CAVALCANTE, 2011) e programas de pós-graduação (MELLO; et al., 2006);
- Turismo: empresas turísticas (GUIMARÃES; et al. 2010);
- Jurídica: estrutura judiciária (THOMAZ, 2009) e poder judiciário (MEIRELES, 2012);
- Serviços em geral: companhias aéreas (SILVEIRA; et al., 2012); etc.

Como dito anteriormente, AED é uma ferramenta multicriterial de apoio à decisão baseada em modelos de Programação Matemática (Programação Linear), que objetiva estabelecer indicadores de eficiência para um conjunto de UTDs analisadas por meio da construção de uma fronteira ótima de eficiência.

Vale salientar que esta ferramenta está sendo utilizada no mundo todo com o intuito de comparar o desempenho das mais variadas unidades que são semelhantes entre si, como por exemplos, clubes de futebol, de basquete, etc. Aizemberg (2014) aplicou a análise envoltória de dados para avaliar a eficiência dos times de basquete da liga principal americana nas temporadas 2006/2007, 2007/2008, 2008/2009 e 2009/2010.

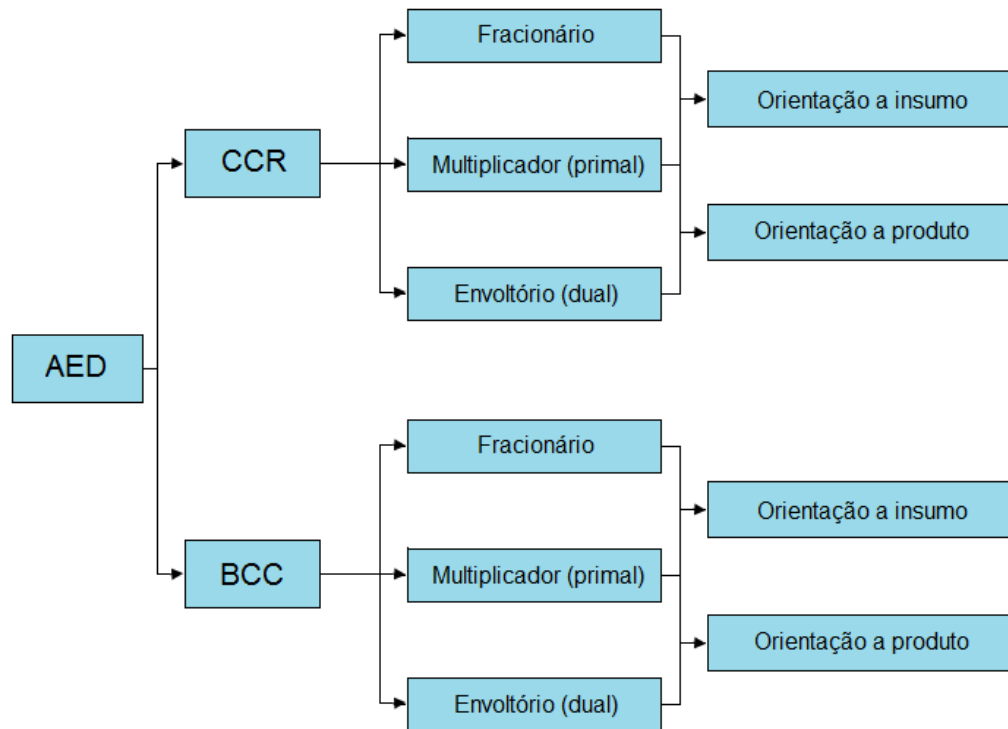
Logo, a escolha dessa metodologia para se fazer análise do desempenho do conjunto de UTDs sugeridos neste trabalho foi motivada pelos seguintes fatores:

1. Muito usada em países desenvolvidos para avaliar o desempenho de instituições corporativas, tais como bancos, hospitais, escolas, universidades, etc.;
2. Facilidade do uso por meio de softwares desenvolvidos ou disponíveis no mercado, tais como AED-SOLVER-SAITTECH, AED-FRONTIER, etc.;
3. A análise de sensibilidade de PL permite identificar as unidades eficientes e as ineficientes, indicando os que as ineficientes necessitam para se tornarem eficientes;
4. Os modelos podem ser programados em JAVA, DotNET, Python, C, C++, etc., com interface amigáveis ao usuário.

No capítulo 2 foi apresentada uma descrição da análise por envoltória de dados, os principais modelos matemáticos de AED e as suas formulações. A aplicação dessa metodologia permite a obtenção da eficiência relativa de um conjunto de UTDs a partir de uma fronteira de eficiência.

As principais diferenças entre os modelos AED devem-se ao tipo de retorno de escala: constante ou variável; o tipo de orientação: orientado a insumo (entrada) ou orientado a produto (saída); e ao modelo matemático: fracionário, multiplicador (primal) ou envoltório (dual). Na Figura 3.4 apresenta uma ilustração dos modelos AED e as suas classificações.

Figura 3.4 – Descrição dos modelos e modelagem de AED



Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Vale salientar que a fronteira de eficiência das UTDs analisadas terá um formato de acordo com o modelo AED selecionado.

A metodologia proposta nesta Tese para a análise por envoltória de dados apresenta as seguintes etapas:

1. Descrição da UTDs;
2. Definição do modelo AED;
3. Descrição dos *insumos* e *produtos*.

3.3.1 Unidades tomadoras de decisão

As unidades tomadoras de decisão (UTDs) propostas nesta pesquisa são as principais categorias de uso dos recursos hídricos das bacias hidrográficas cearenses, que são:

a indústria, o abastecimento público e a irrigação. Ao todo serão 33 UTDs, conforme listadas no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 – Descrição das UTDs do modelo proposto

UTD	Descrição	UTD	Descrição
UTD1	Indústria (Metropolitana)	UTD18	Irrigação (Salgado)
UTD2	Abastecimento público (Metropolitana)	UTD19	Indústria (Litoral)
UTD3	Irrigação (Metropolitana)	UTD20	Abastecimento público (Litoral)
UTD4	Indústria (Curu)	UTD21	Irrigação (Litoral)
UTD5	Abastecimento público (Curu)	UTD22	Indústria (Acarauá)
UTD6	Irrigação (Curu)	UTD23	Abastecimento público (Acarauá)
UTD7	Indústria (Alto Jaguaribe)	UTD24	Irrigação (Acarauá)
UTD8	Abastecimento público (Alto Jaguaribe)	UTD25	Indústria (Coreauá)
UTD9	Irrigação (Alto Jaguaribe)	UTD26	Abastecimento público (Coreauá)
UTD10	Indústria (Médio Jaguaribe)	UTD27	Irrigação (Coreauá)
UTD11	Abastecimento público (Médio Jaguaribe)	UTD28	Indústria (Parnaíba)
UTD12	Irrigação (Médio Jaguaribe)	UTD29	Abastecimento público (Parnaíba)
UTD13	Indústria (Baixo Jaguaribe)	UTD30	Irrigação (Parnaíba)
UTD14	Abastecimento público (Baixo Jaguaribe)	UTD31	Indústria (Banabuiú)
UTD15	Irrigação (Baixo Jaguaribe)	UTD32	Abastecimento público (Banabuiú)
UTD16	Indústria (Salgado)	UTD33	Irrigação (Banabuiú)
UTD17	Abastecimento público (Salgado)		

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Vale ressaltar, que apesar de o Estado atualmente estar dividido em doze bacias hidrográficas, como visto anteriormente, essa divisão ainda não ocorreu de fato nos cadastros de cobrança e de outorga no Estado do Ceará.

Os usos da aquicultura (piscicultura e carcinicultura) e demais uso não foram incluídos na pesquisa, devido ao fato de que em algumas bacias cearenses esses setores não possuem usuários faturados, conforme pode ser visto no Anexo A. Ainda no Anexo A podem ser observados que esses setores não são considerados irrelevantes em relação ao instrumento da cobrança (faturamento e consumo).

Na presente pesquisa a ferramenta analítica de AED será utilizada com o objetivo de fornecer uma identificação dos setores de uso de recursos hídricos do Estado, por bacia

hidrográfica, que adotam as melhores práticas no manejo de seus recursos para a aplicação da cobrança pelo uso da água bruta, um dos instrumentos da PERH.

A técnica AED verifica se cada UTD opera de maneira adequada ou não, em comparação com outras UTDs similares, segundo os critérios definidos na seção anterior deste capítulo.

Vale enfatizar que para que a comparação entre as eficiências das UTDs faça sentido é necessário que as mesmas realizem tarefas similares em condições semelhantes. Outro detalhe muito importante é que os *insumos* e *produtos* selecionados sejam iguais nas várias UTDs, variando de uma para outra apenas na quantidade.

3.3.2 Modelo AED sugerido

Agora, a próxima etapa desta pesquisa consiste na definição do modelo AED que se adeque ao problema proposto: “fazer uma análise comparativa do desempenho do instrumento da cobrança pelo uso da água bruta das principais categorias de uso por bacia hidrográfica”.

A seguir podem-se listar algumas das principais vantagens de se usar os modelos por análise envoltória de dados:

1. Os índices de eficiência são baseados em dados reais e não em fórmulas teóricas;
2. Otimizam cada observação individual com o intuito de obter uma fronteira linear por partes que compreende o conjunto de UTDs Pareto-eficientes;
3. Podem-se utilizar múltiplos insumos e produtos, que apresentam diferentes unidades de medida;
4. Não há necessidade do conhecimento a priori dos pesos das variáveis (insumo ou produto);
5. Não impõe nenhuma relação funcional entre os insumos e os produtos.

Segundo Ferreira; Gomes (2009, p.115), “quando o conjunto de DMUs tem tamanhos diversos, quer seja representado pelo número de empregados que geram, pelo tamanho do seu ativo ou patrimônio líquido, faturamento, etc., quer seja por qualquer outra medida que seja relevante, elas tendem a ter rendimentos de escala diferentes”.

As UTDs propostas nesta pesquisa apresentam a características de possuírem tamanhos variados, implicando que as mesmas tendem a ter rendimentos de escalas variáveis.

Desta forma, o método AED selecionado para medir as eficiências relativas das UTDs, descritas no Quadro 3.2, será o modelo que BCC (retornos de escala variáveis), orientado a *produto*.

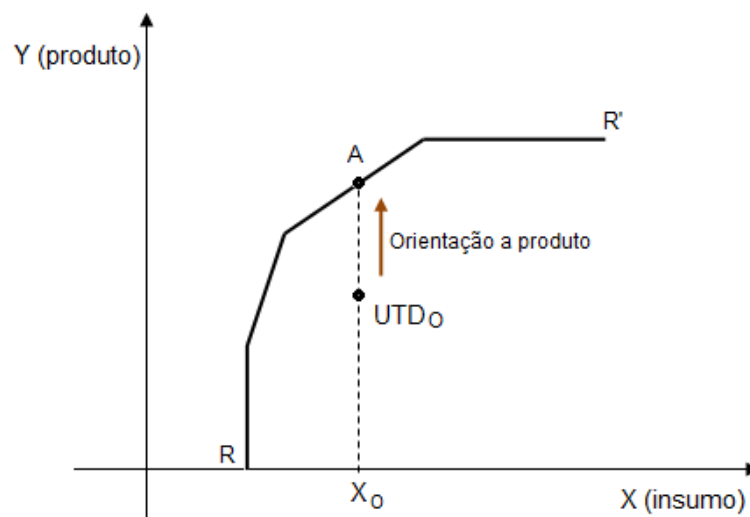
3.3.2.1 Modelo BCC – orientado a produto

Como dito anteriormente, o modelo BCC apresenta retornos variáveis de escalas, isto é, as variações nos insumos provocam variações não proporcionais nos produtos. Por outro lado, na orientação a produto admite-se que os insumos permanecem constantes, enquanto os produtos variam para atingir a fronteira de produção eficiente.

Na Figura 3.6 ilustra-se graficamente um modelo AED com orientação a *produto*. Conforme ilustrado na mesma a UTD_0 por não está localizada na fronteira de eficiência (RR'), é uma UTD não eficiente. No modelo orientado a *produto*, a UTD_0 para torna-se eficiente deve se deslocar através de uma linha vertical até o ponto A, aumentando assim a sua produção e mantendo os insumos (X_0) constantes.

Vale salientar que como os modelos AED trabalham com múltiplos insumos e produtos a Figura 3.5 é uma representação no \mathbb{R}^2 dos hiperplanos dos insumos e produtos, e da superfície poliédrica de eficiência.

Figura 3.5 – Modelo BCC orientado a produto



Fonte: Elaboração do autor, 2014.

De acordo com a Figura 3.5 a fronteira eficiente é representada por RR' . Logo uma unidade ineficiente deve ser projetada sobre essa linha conforme a orientação definida (entrada ou saída).

Assim, considere uma UTD_O (objetivo) cujos produtos podem ser representados por Y_{s_o} , isto é, o produto s , e os insumos por X_{m_o} , isto é, o insumo m , que são conhecidos, e os pesos μ_i ($i=1,\dots,s$) e v_j ($j=1,\dots,m$) ainda desconhecidos, porém devem ser determinados para cada UTD_O .

Para as UTDs, descritas no Quadro 3.1, a eficiência técnica de cada UTD_O , pode ser determinada por meio do problema de PML:

$$\min h_o = \sum_{j=1}^m v_j X_{j_o} + v_o \quad (3.16)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^s \mu_i Y_{i0} = 1$$

$$\sum_{i=1}^s \mu_i Y_{ik} - \sum_{j=1}^m v_j X_{jk} + v_o \leq 0 \quad (k=1,\dots,n) \quad (3.17)$$

$$\mu_i \geq 0, \quad i=1,2,\dots,s; \quad v_j \geq 0, \quad j=1,2,\dots,m; \quad v_o \in \mathbb{R}_*$$

A garantia de que os retornos de escala não são constantes se deve a presença do termo v_o e que o mesmo seja diferente de zero. Se $v_o > 0$, têm-se retornos de escala não crescente e se $v_o < 0$, têm-se retornos não decrescentes de escala.

A solução dessa programação matemática, dadas pelas Equações (3.16) e (3.17), resultam em valores para os pesos μ_i e v_j , que minimizam a medida h_o , que é o inverso da eficiência técnica da UTD_O , $E_{f_o} = \frac{1}{h_o}$, sujeitos a restrição de que todas as UTDs tenham suas eficiências menores ou iguais a unidade.

Se a eficiência de uma UTD for igual a unidade, então, ela pode ser considerada como totalmente eficiente. As UTDs de um conjunto que são totalmente eficientes são conhecidas como *benchmarks* e servem de modelos para as outras UTDs que não atingiram a completa eficiência, ou seja, cuja medida da eficiência foi menor do que a unidade.

A completa eficiência (100%) é atingida por uma DMU_O (objetivo) se, e somente se, os desempenhos de outras DMUs do conjunto em análise não demonstram que alguns dos insumos ou produtos da DMU_O podem ser melhorados, sem piorar os demais insumos e produtos das demais DMUs (FERREIRA; GOMES, 2009, p. 62).

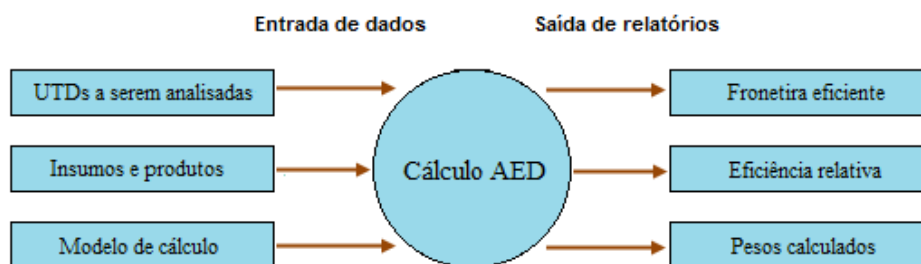
Desta forma, o modelo AED identificará, dentre as UTDs analisadas (ver Quadro 3.1), as unidades que servirão como *benchmarks* para as demais UTDs, tidas como ineficientes. Os *benchmarks* indicaram as melhores relações insumos/produtos sugeridas na pesquisa, que servirão de metas a serem atingidas pelas unidades ineficientes de modo a obter uma melhor eficiência.

Em algumas análises o grande número de UTDs para serem comparadas em relação aos vários insumos e produtos definidos requer um auxílio de um recurso computacional para obter a solução. Atualmente, existem vários *softwares* para o cálculo dos modelos AED, onde cada um apresenta a sua própria especificidade. A escolha de um programa específico irá depender da familiaridade do pesquisador ou tomador de decisão em relação ao manuseio desse programa.

Em qualquer *software* escolhido para realização dos cálculos de um modelo AED, os passos são basicamente os mesmo. As entradas em qualquer programa consistem das UTDs a serem analisadas, os insumos e produtos por UTD e por fim o modelo de cálculo da eficiência. As saídas se apresentam em forma de relatórios, apresentando no mínimo a fronteira de eficiência, a eficiência relativa das UTDs e pesos calculados para cada conjunto de insumo e produto das UTDs.

Na Figura 3.6 são ilustradas as entradas e saídas de um *software* para o cálculo da análise por envoltória de dados.

Figura 3.6 – Entrada de dados e saída de relatórios de um *software* AED



Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Vale salientar que a maior ou menor quantidade de informações disponibilizadas nos relatórios AED irá depender do programa computacional adotado.

3.3.3 Insumos e produtos do modelo

Será considerado, nesta pesquisa de doutorado, um conjunto de critérios de avaliação relacionados diretamente ao instrumento de cobrança pelo uso da água bruta por categoria de uso nas bacias hidrográficas do Estado do Ceará. Também foi considerada na definição dessas variáveis de avaliação a disponibilidade dos dados durante o período considerado na pesquisa.

A partir desses critérios considerados foi proposto um conjunto de índices e taxas, descritos no item anterior, que objetivam medir o desempenho relativo entre as UTDs consideradas do modelo.

Dentre essas variáveis propostas, que ao todo são nove, devem ser definidos os insumos e produtos que serão utilizados para o cálculo da eficiência relativa das UTDs.

Segundo Jubran (2006, p. 108), os insumos e produtos escolhidos devem obedecer aos seguintes pressupostos:

1. Cobrir todos os recursos usados;
2. Capturar todos os níveis de atividade e medidas de desempenho;
3. Ser comuns a todas as UTDs.

“Supõe-se que os *inputs* e os *outputs* são isotônicos, ou seja, quanto maior o valor do *output* maior a eficiência, e que quanto menor o valor do *input*, também maior sua eficiência (JUBRAN, 2006, p. 110)”.

Então, nesta pesquisa foi considerada que para cada fator de entrada (insumo) quanto menor o seu valor, maior a medida de eficiência do fator. No caso de um fator de saída (produto), quanto maior o seu valor, maior será a sua medida de eficiência.

Na Tabela 3.4 são descritos todos os insumos sugeridos para a composição do modelo AED de avaliação e as suas características. Assim, conforme a tabela sugere-se inicialmente para compor o modelo de avaliação um total de seis insumos.

Tabela 3.4 – Descrição dos insumos sugeridos para o modelo

Insumos	Símbolos	Descrição
Usuários faturados e não faturados	PUF_K	Representa o percentual de usuários de recursos hídricos cadastrados que não estão faturados
Usuários outorgados e não outorgados	PUO_K	Representa o percentual de usuários faturados que não estão regularmente outorgados pelo Estado
Volume total consumido por usuário	VMC_K (m^3 /usuário)	Representa o volume médio consumido
Usuários com consumo não aceitável	PCA_K	Representa o percentual de usuários faturados que não apresentam um consumo aceitável em relação ao volume outorgado
Relação entre o volume outorgado e o volume consumido	TCO_K	Indica a razão entre o volume consumido e o volume outorgado
Balanço entre disponibilidade x demanda hídrica	TBH_K	Indica a contribuição do setor de uso no balanço hídrico

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Em seguida, na Tabela 3.5 são descritos os produtos sugeridos para compor o modelo AED de avaliação e as suas características. De acordo com a tabela sugerem-se inicialmente ao todo três produtos para a composição do modelo de avaliação.

Tabela 3.5 – Descrição dos produtos sugeridos para o modelo

Produtos	Símbolos	Descrição
Relação entre o faturamento e consumo	$TFVC_K$ ($R\$/m^3$)	Representa o preço do metro cúbico de água consumida por setor usuário
Faturamento total por usuário	FM_K ($R\$/usuário$)	Indica o faturamento médio por setor usuário durante o período
Arrecadação total por usuário	AM_K ($R\$/usuário$)	Indica a arrecadação média por setor usuário durante o período

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

4 – SIMULAÇÕES E RESULTADOS

Neste capítulo será realizada uma análise comparativa do desempenho do instrumento de cobrança pelo uso da água, no período de um ano, para as categorias de uso da indústria, do abastecimento público e da irrigação nas bacias hidrográficas do Estado. Ao todo serão 33 unidades, ou UTDs, a serem avaliadas nessa análise. Para realização dessa análise foi sugerido na metodologia um conjunto de fatores, ou critérios de desempenho, que serão usados como medidas de eficiência para as UTDs sugeridas.

Será usado o modelo AED-BCC, com retornos variáveis de escalas, orientado a produto para medir a eficiência relativa de cada UTD do conjunto sugerido. A ferramenta computacional usada para esses cálculos será o AED-Solver, na versão profissional 7.0, da SAITECH, inc., conforme ilustrado a sua interface inicial na Figura 4.1.

Figura 4.1 – Interface inicial do DEA-Solver



Fonte: Adaptado pelo autor do software DEA-Solver, 2014.

De acordo com os dados obtidos para a pesquisa são determinados os fatores de avaliação sugeridos para cada UTD proposta na metodologia. Em seguida, será feita uma seleção dos fatores sugeridos (ao todo nove) que são mais relevantes no cálculo da eficiência relativa das UTDs do modelo.

Após definidos os fatores mais importantes, tem-se o modelo final de insumos e de produtos. Por fim, este modelo é aplicado, com auxílio do AED-Solver, para medir a eficiência de cada UTD e em seguida é feita uma análise dos resultados apresentados nos relatórios emitidos pelo programa.

4.1 Dados da pesquisa

A principal fonte de dados para esta pesquisa foi obtido junto à Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Estado do Ceará (COGERH). Os dados fornecidos são referentes ao faturamento com a cobrança pelo uso da água bruta e às outorgas emitidas pela Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos, em todas as bacias hidrográficas do Estado.

O relatório de cobrança, fornecido pela COGERH, se refere a um período de 12 meses (um ano) que se inicia em maio de 2012 e vai até o abril de 2013. Enquanto, os relatórios de outorgas emitidas, tanto para águas superficiais quanto para águas subterrâneas, se referem até o mês de abril de 2013.

Nos dados de cobrança e outorgas, fornecidos pela COGERH, foi possível obter os seguintes parâmetros que foram usados para compor os percentuais e taxas, do conjunto de insumos e produtos do modelo: número de usuários de recursos hídricos; número de usuários faturados com a cobrança; número de usuários regularmente outorgados; número de usuários que estão simultaneamente faturados e outorgados; volume total consumido; volume total outorgado; faturamento total com a cobrança pelo uso da água bruta; arrecadação total com a cobrança pelo uso da água bruta.

Vale saliente que foram observados nesta pesquisa muitos usuários de recursos em desacordo com as legislações vigentes no Estado referente aos recursos hídricos. Os principais desacordos observados são os seguintes: usuários outorgados que ainda não estão sendo faturado pela COGERH; usuários faturados que não apresentam outorgas emitidas pela SRH; usuários que apresentam consumos anuais de água bem acima dos volumes anuais outorgados; usuários que apresentam grandes reservas de água.

4.2 Fatores de avaliação (insumos e produtos) sugeridos para o modelo

4.2.1 Percentual de Usuários não Faturados (insumo)

O Percentual de Usuários não Faturados (PUF) irá indicar a quantidade de usuários de recursos hídricos de um setor de uso que ainda não estão sendo faturados pela COGERH. Isto é, este termo indica o percentual de usuários que ainda não estão pagando pelo uso de água.

Na Tabela 4.1 são apresentados os parâmetros usados na determinação deste termo. Para composição deste fator optou-se por usar o percentual, definido pela Equação

(3.2), pois só assim é possível comparar a UTD1 (indústria da bacia Metropolitana), que apresenta 121 usuários faturados dentre os 188 usuários total de recursos hídricos com a UTD7 (indústria da bacia do Alto Jaguaribe), que apresenta apenas 19 usuários faturados dentre um total de 24 usuários de recursos hídricos.

Tabela 4.1 – Determinação do Percentual de Usuários não Faturados (PUF) para cada UTD

UTD	N _{fat}	N _{total}	PUF	UTD	N _{fat}	N _{total}	PUF
UTD1	121	188	0,356	UTD18	12	213	0,944
UTD2	42	103	0,592	UTD19	3	8	0,625
UTD3	48	90	0,467	UTD20	6	22	0,727
UTD4	40	40	0,000	UTD21	3	15	0,800
UTD5	14	30	0,533	UTD22	53	58	0,086
UTD6	25	159	0,843	UTD23	35	71	0,507
UTD7	19	24	0,208	UTD24	10	19	0,474
UTD8	21	77	0,727	UTD25	12	15	0,200
UTD9	25	75	0,667	UTD26	6	15	0,600
UTD10	26	28	0,071	UTD27	1	4	0,750
UTD11	17	48	0,646	UTD28	13	14	0,071
UTD12	73	107	0,318	UTD29	11	27	0,593
UTD13	87	103	0,155	UTD30	26	61	0,574
UTD14	7	38	0,816	UTD31	11	16	0,313
UTD15	12	155	0,923	UTD32	13	89	0,854
UTD16	60	76	0,211	UTD33	87	162	0,463
UTD17	32	86	0,628				

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Vale enfatizar que quanto menor for este termo para uma determinada UTD, maior o seu percentual de usuários faturados é maior a sua eficiência. Por outro lado quanto maior o valor deste termo para uma UTD, menor a sua eficiência.

Na análise dos dados para a composição deste fator, nos setores de uso definidos na pesquisa, podem-se identificar situações bem críticas relacionadas ao faturamento com a cobrança no Estado. Por exemplo, a cobrança do setor da irrigação da bacia do Salgado, identificado como UTD18 (ver Tabela 4.1), apresenta apenas 12 usuários faturados com a cobrança, dentre um total de 213 usuários cadastrados na bacia para esse setor.

A irrigação em todo o Estado foi o setor que apresentou o menor percentual de usuários cadastrado que pagam pelo uso da água, ou seja, que estão sendo faturados pela COGERH. Dos 1.060 usuários cadastrado em todo o Estado apenas 322 pagam pelo uso da água, o que representa cerca de 30,4% dos usuários cadastrados. Em outras palavras ao todo 722 usuários da irrigação em todo o Estado possuem outorgas, mas ainda não estão sendo faturados com a cobrança.

O abastecimento público em todo o Estado apresenta 204 usuários faturados pela COGERH, de um total de 606 usuários cadastrado para o setor, o que representa cerca de 33,7% dos usuários faturados. Então, este setor apresenta 402 usuários que estão regularmente outorgados, mas que ainda não estão sendo faturados.

O setor que apresentou o maior percentual de usuários faturados pela COGERH em todo o Estado foi a indústria. Este setor apresentou 445 usuários faturados de um total de 570 usuários, o que representa cerca de 78,1% dos usuários cadastrados. Pode-se então concluir que 125 usuários da indústria apresentam outorga emitidas, porém ainda não estão sendo faturados pela COGERH.

Em todo o Estado existem 2.236 usuários cadastrados (indústria, abastecimento e irrigação), sendo que destes, apenas 971 usuários estão faturados com a cobrança, o que representa cerca de 43,4 % dos usuários cadastrados. Ou seja, 1.265 usuários outorgados em todo o Estado não pagam ainda pelo uso da água bruta.

A pesquisa não conseguiu identificar os motivos reais pelos quais se identificam usuários outorgados que não estão sendo faturado com a cobrança pelo uso da água bruta em todo o Estado. Podem-se supor as seguintes situações para que um usuário outorgado, ainda não esteja sendo faturado com a cobrança pela água bruta:

1. Não há consumo. Isto é, o usuário apenas faz a reserva da água, mas não ainda não está realizando a captação;
2. O consumo é insignificante, não justificando, por lei, a cobrança pelo uso da água;
3. Falha na fiscalização em identificar usuários com consumo que justifique a cobrança por lei.

Este fato é muito preocupante e pode ser considerado como uma desconformidade (falha) com a política de água estadual e com o instrumento de cobrança pela água, pois pode acarretar o comprometimento do gerenciamento dos recursos hídricos do Estado do Ceará.

4.2.2 Percentual de Usuários não Outorgados (insumo)

Dentre os usuários faturados, o Percentual de Usuários não Outorgados (PUO) irá indicar a quantidade desses usuários que não possuem outorgas emitidas pela SRH. Ou seja, este termo indicará o percentual de usuários que não estão regularmente outorgados pelo Estado do Ceará.

Na Tabela 4.2 são apresentados os parâmetros usados na determinação deste termo. Optou-se pelo uso de percentual, definido pela Equação (3.3), como medida de desempenho. Desta forma torna-se justa a comparação entre a UTD1 (indústria da bacia Metropolitana), que apresenta 63 usuários outorgados e faturados, com a UTD21 (irrigação da bacia do Litoral), que apresenta 2 usuários outorgados dentre os 3 faturados para este setor.

Tabela 4.2 – Determinação do Percentual de Usuários não Outorgados (PUO) para cada UTD

UTD	N _{fat U out}	N _{fat}	PUO	UTD	N _{fat U out}	N _{fat}	PUO
UTD1	63	121	0,479	UTD18	4	12	0,667
UTD2	29	42	0,310	UTD19	1	3	0,667
UTD3	6	48	0,875	UTD20	3	6	0,500
UTD4	7	40	0,825	UTD21	2	3	0,333
UTD5	13	14	0,071	UTD22	9	53	0,830
UTD6	11	25	0,560	UTD23	11	35	0,686
UTD7	9	19	0,526	UTD24	2	10	0,800
UTD8	20	21	0,048	UTD25	0	12	1,000
UTD9	10	25	0,600	UTD26	5	6	0,167
UTD10	0	26	1,000	UTD27	1	1	0,000
UTD11	7	17	0,588	UTD28	1	13	0,923
UTD12	4	73	0,945	UTD29	6	11	0,455
UTD13	22	87	0,747	UTD30	8	26	0,692
UTD14	6	7	0,143	UTD31	0	11	1,000
UTD15	5	12	0,583	UTD32	12	13	0,077
UTD16	46	60	0,233	UTD33	23	87	0,736
UTD17	21	32	0,344				

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Vale ressaltar que quanto menor o valor do PUO, maior a sua eficiência e quanto maior o valor do PUO, menor a sua eficiência, atingindo a ineficiência máxima em zero.

Na análise dos dados para a composição deste termo foram identificados vários usuários que apesar de estarem pagando pelo uso da água bruta nas bacias do Estado não possuem outorgas emitidas pela SRH. Ou seja, esses usuários se apresentam em desacordo com a legislação estadual (Decreto nº 31.195/2013) que prever a cobrança deve decorrer da outorga de direito de uso da água.

Como exemplo, pode-se citar o setor da indústria da bacia do Médio Jaguaribe, identificado como UTD10 (ver Tabela 4.2), apresenta 26 usuários faturados com a cobrança, porém nenhum apresenta outorga emitida pelo Estado.

A cobrança da irrigação em todo o Estado foi o setor que apresentou menor percentual de usuários outorgados dentre os faturados. Este setor apresentou 76 usuários outorgados dentre um total de 322 usuários que pagam pela água bruta, o que representa cerca de aproximadamente 23,6% dos usuários faturados. Isto é, em todo o Estado a irrigação apresenta 246 usuários faturados que não possuem outorgas emitidas pela SRH.

Em seguida, o setor da irrigação apresentou 158 usuários outorgados de um total de 445 usuários que pagam pelo uso da água bruta em todo o Estado, ou seja, representando cerca de 35,5% dos usuários faturados do setor. Ou seja, a indústria apresenta em todo o Estado 287 usuários faturados que não possuem outorgas emitidas pela SRH.

A cobrança do setor do abastecimento público em todo o Estado apresentou o maior percentual de usuários outorgados dentre os faturados. Ao todo 133 usuários do abastecimento apresentam outorga emitidas de um total de 204 usuários que pagam pelo consumo de água bruta, o que representa cerca de aproximadamente 65,2% dos usuários faturados. Em outras palavras, este setor apresenta 71 usuários faturados que possuem outorgas emitidas pelo Estado.

Em relação ao Estado como um todo, para os usos considerados na pesquisa (indústria, abastecimento e irrigação), existem 971 usuários que pagam pela água bruta, desde, apenas 367 estão regularmente outorgas pela SRH (37,8% de usuários faturados). Então, um total de 604 usuários faturados para os usos da indústria, do abastecimento público e da irrigação, se apresenta em desacordo com a legislação estadual de recursos hídricos, por não apresentarem outorgas emitidas para retirada em corpos d'água estaduais.

Na opinião do autor que a existência de usuários nas bacias cearenses que mesmo sem possuírem outorgas emitidas realizam retiradas de água em corpos hídricos e pagam pelo seu uso se deve uma grave falha no instrumento de fiscalização dos recursos hídricos.

4.2.3 Volume Médio Consumido (insumo)

O consumo médio anual, por categoria de uso, considerada neste trabalho pode ser um importante critério objetivando obter uma comparação entre os desempenhos dessas categorias nas bacias do Estado.

Optou-se por usar uma média aritmética para compor este termo, dado pela Equação (3.4), pois só assim é possível comparar de forma justa a UTD1 (indústria da bacia Metropolitana) que apresenta um consumo médio de 175.218,96 m³/usuário com a UTD21 (irrigação da bacia do Litoral) que apresenta um consumo médio de 171.215,48 m³/usuário.

Na Tabela 4.3 são apresentados os parâmetros para composição do termo VMC, m³/usuário, para cada UTD analisada nesta pesquisa.

Tabela 4.3 – Determinação do Volume Médio Consumido (VMC) para cada UTD

UTD	Cons. (m ³)	N _{fat}	VMC (m ³ /usuário)	UTD	Cons. (m ³)	N _{fat}	VMC (m ³ /usuário)
UTD1	21.201.494,13	121	175.218,96	UTD18	8.932.232,08	12	744.352,67
UTD2	281.970.523,29	42	6.713.583,89	UTD19	205.910,00	3	68.636,67
UTD3	17.302.943,33	48	360.477,99	UTD20	6.545.175,87	6	1.090.862,65
UTD4	156.165,73	40	3.904,14	UTD21	513.646,44	3	171.215,48
UTD5	9.038.515,89	14	645.608,28	UTD22	681.287,10	53	12.854,47
UTD6	22.654.909,29	25	906.196,37	UTD23	39.020.086,73	35	1.114.859,62
UTD7	25.577,26	19	1.346,17	UTD24	934.976,11	10	93.497,61
UTD8	15.021.544,23	21	715.311,63	UTD25	75.389,47	12	6.282,46
UTD9	2.655.018,85	25	106.200,75	UTD26	4.283.941,04	6	713.990,17
UTD10	640.746,23	26	24.644,09	UTD27	49.027,00	1	49.027,00
UTD11	13.583.183,74	17	799.010,81	UTD28	89.622,00	13	6.894,00
UTD12	149.909.007,51	73	2.053.548,05	UTD29	16.190.356,62	11	1.471.850,60
UTD13	149.486,77	87	1.718,24	UTD30	9.567.450,32	26	367.978,86
UTD14	5.226.680,00	7	746.668,57	UTD31	25.305,22	11	2.300,47
UTD15	21.055.233,12	12	1.754.602,76	UTD32	15.052.458,03	13	1.157.881,39
UTD16	583.954,33	60	9.732,57	UTD33	15.407.150,77	87	177.093,69
UTD17	48.047.543,68	32	1.501.485,74				

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Conforme pode ser visto na Tabela 4.3 o setor do abastecimento da bacia Metropolitana, identificado como UTD2, é a unidade analisada na pesquisa que apresentou o maior consumo médio, com aproximadamente 6,7 milhões de metros cúbicos por usuário faturado. Esta unidade consumiu durante o ano um volume total de aproximadamente 282 milhões de metros cúbicos, sendo a unidade com o maior consumo absoluto dentre as unidades analisadas.

Por outro lado, a unidade que menos consumiu água no Estado durante esse período foi o setor da indústria da bacia do Alto Jaguaribe, representado pela UTD7, com um consumo de aproximadamente 1,3 mil metros cúbicos por usuário faturado. Esta unidade um consumo total durante o ano de aproximadamente 25,6 mil metros cúbicos.

Em relação à categoria de uso em todo o Estado, o abastecimento público é o setor que apresentou o maior consumo durante o período da pesquisa, com um consumo absoluto de aproximadamente 454 milhões de metros cúbicos, para um total de 204 usuários faturados. Assim, o consumo médio desse setor foi de aproximadamente 2,23 milhões de m^3 /usuário.

Em seguida vem a irrigação, que consumiu durante o período da pesquisa um volume absoluto de aproximadamente 249 milhões de metros cúbicos, para um total de 322 usuários faturados. Neste caso, a irrigação apresentou um consumo médio de aproximadamente 770 mil m^3 /usuário.

Por fim, a indústria em todo o Estado do Ceará consumiu durante o período um volume absoluto de aproximadamente 24 milhões de metros cúbicos, para um total de 445 usuários faturados. Logo, a indústria apresentou um consumo médio de aproximadamente 54 mil m^3 /usuário.

4.2.4 Percentual de Usuários com Consumo não Aceitável (insumo)

Na metodologia foi definida uma faixa de consumo considerado aceitável relacionada a razão entre o volume consumido e o volume outorgado, chamada de razão de consumo, Equação (3.5). Essa faixa de consumo foi definida pela Equação (3.6). Os usuários que apresentaram uma razão de consumo dentro da faixa (3.6) foram considerados com consumo aceitável. Caso contrário, o usuário apresenta um consumo não aceitável.

Na Tabela 4.4 são apresentados os parâmetros necessários para compor o Percentual de Usuários com Consumo não Aceitável (PCA), determinado pela Equação (3.7).

Tabela 4.4 – Determinação do Percentual de Usuários com Consumo não Aceitável (PCA) para cada UTD

UTD	N _{cons-aceit}	N _{fat U out}	PCA	UTD	N _{cons-aceit}	N _{fat U out}	PCA
UTD1	10	63	0,841	UTD18	2	4	0,500
UTD2	20	29	0,310	UTD19	0	1	1,000
UTD3	1	6	0,833	UTD20	2	3	0,333
UTD4	0	7	1,000	UTD21	1	2	0,500
UTD5	8	13	0,385	UTD22	2	9	0,778
UTD6	5	11	0,545	UTD23	10	11	0,091
UTD7	0	9	1,000	UTD24	0	2	1,000
UTD8	13	20	0,350	UTD25	0	0	1,000
UTD9	2	10	0,800	UTD26	3	5	0,400
UTD10	0	0	1,000	UTD27	0	1	1,000
UTD11	1	7	0,857	UTD28	1	1	0,000
UTD12	1	4	0,750	UTD29	3	6	0,500
UTD13	11	22	0,500	UTD30	2	8	0,750
UTD14	3	6	0,500	UTD31	0	0	1,000
UTD15	0	5	1,000	UTD32	4	12	0,667
UTD16	11	46	0,761	UTD33	4	23	0,826
UTD17	10	21	0,524				

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

O termo PCA irá indicar o percentual de usuários faturados e outorgados dos setores de uso considerados na pesquisa, identificado como uma UTD, que apresentam um consumo fora da faixa definida pela Equação (3.6).

Assim, quanto maior for o valor deste fator para uma UTD, menor é sua eficiência. Por outro lado, quanto mais próximo de zero for o termo PCA, maior será a eficiência da UTD.

Na análise para composição do fator PCA foi identificado uma situação bastante grave para o gerenciamento eficiente dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas do Estado do Ceará. Na pesquisa foram identificados usuários que ou consomem um volume superior ao volume outorgado ou consomem um volume bem inferior a 70% do seu volume outorgado. Esses usuários foram identificados como apresentando consumos não aceitáveis, estando fora da faixa definida pela Equação (3.6).

Como exemplo, pode-se citar o setor da indústria da bacia Metropolitana, identificada na pesquisa como UTD1 (ver Tabela 4.4), que dos seus 63 usuários faturados que estão regularmente outorgados, 53 usuários estão fora da faixa definida pela Equação (3.6). Dessa forma a medida do termo PCA para a UTD1 é igual 0,841, sendo, portanto, muito ineficiente.

O setor mais crítico em todo o Estado foi a indústria que apresentou ao todo 123 usuários com consumos fora da faixa definida por (3.7), dentre um total de 158 usuários faturados que apresentam outorgas. Desta forma a indústria apresenta em todo o Estado apresenta 77,8% de seus usuários faturados, regularmente outorgados, com consumo não aceitável, podendo comprometer o gerenciamento das águas em todo o Estado.

A irrigação também se apresenta com uma situação considerada crítica para este fator. Dos 76 usuários faturados que apresentam outorgas emitidas pela SRH a irrigação apresenta 58 usuários com consumo fora da faixa (3.6). Assim, este setor apresenta então 76,3% de seus usuários faturados, regularmente outorgados, com consumo que pode ser considerado como não aceitável.

O setor menos crítico foi o abastecimento público em relação a esse fator. O setor apresentou 56 usuários com consumo fora da faixa (3.6) de um total de 133 usuários faturados que possuem outorgas emitidas pela SRH. Assim, o abastecimento público apresentou cerca de 42,1% de seus usuários faturados, regularmente outorgados, com um consumo considerado não aceitável.

Em relação ao Estado como um todo, dos 367 usuários faturados com a cobrança pela água bruta, que estão regularmente outorgados pela SRH, um total de 237 usuários apresentam consumos fora da faixa definida em (3.6), o que representa cerca de 64,6% dos usuários faturados e outorgados ao mesmo tempo. Ou seja, apenas 130 usuários apresentam um consumo considerado aceitável.

Na opinião do autor, a única justificativa para que ocorram as situações relatadas neste trabalho se deve a uma grave falha do instrumento de fiscalização de recursos hídricos, que deve coibir essas práticas de mau gerenciamento de modo a não comprometer a eficiência do instrumento da cobrança pela água bruta.

4.2.5 Taxa de Consumo por Outorga (insumo)

A relação entre a outorga e o consumo pode ser um importante critério na avaliação do desempenho da cobrança pela água bruta de um setor usuário, uma vez que pode indicar se um setor está consumindo um volume maior do que o volume total outorgado. Na Tabela 4.5 são apresentados os parâmetros definidos para composição desse termo.

Tabela 4.5 – Determinação da Taxa de Consumo por Outorga (TCO) para cada UTD

UTD	Cons. (m ³)	Out. (m ³)	TCO	UTD	Cons. (m ³)	Out. (m ³)	TCO
UTD1	21.201.494,13	55.789.465,63	0,380	UTD18	8.932.232,08	2.642.256,49	1,000
UTD2	281.970.523,29	168.885.538,17	1,000	UTD19	205.910,00	150.211,53	1,000
UTD3	17.302.943,33	3.875.277,43	1,000	UTD20	6.545.175,87	2.369.032,50	1,000
UTD4	156.165,73	17.395,90	1,000	UTD21	513.646,44	218.111,74	1,000
UTD5	9.038.515,89	8.400.609,74	1,000	UTD22	681.287,10	919.434,50	0,741
UTD6	22.654.909,29	20.837.779,08	1,000	UTD23	39.020.086,73	37.092.185,73	1,000
UTD7	25.577,26	56.272,05	0,455	UTD24	934.976,11	477.057,71	1,000
UTD8	15.021.544,23	66.858.257,97	0,225	UTD25	75.389,47	0,00	1,000
UTD9	2.655.018,85	2.242.953,73	1,000	UTD26	4.283.941,04	3.459.543,00	1,000
UTD10	640.746,23	0,00	1,000	UTD27	49.027,00	2.075.700,63	0,024
UTD11	13.583.183,74	2.160.509,40	1,000	UTD28	89.622,00	96.177,50	0,932
UTD12	149.909.007,51	9.281.166,47	1,000	UTD29	16.190.356,62	7.029.251,10	1,000
UTD13	149.486,77	29.064,50	1,000	UTD30	9.567.450,32	5.202.867,89	1,000
UTD14	5.226.680,00	7.878.171,11	0,663	UTD31	25.305,22	0,00	1,000
UTD15	21.055.233,12	5.285.521,51	1,000	UTD32	15.052.458,03	13.410.396,71	1,000
UTD16	583.954,33	1.153.575,20	0,506	UTD33	15.407.150,77	6.549.775,50	1,000
UTD17	48.047.543,68	22.256.012,08	1,000				

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Vale ressaltar que quanto mais próximo da unidade for este termo, determinado pela Equação (3.8), mais ineficiente esta sendo a UTD em relação a esse fator. Por outro lado, quanto menor for este termo maior a eficiência.

Como pode ser visto na Tabela 4.5, na composição desse fator foi identificada que algumas unidades consideradas na pesquisa apresentaram durante o período da pesquisa um consumo bem superior a sua outorga, que pode ser considerado como um desacordo com a política de recursos hídricos do Estado do Ceará.

Pode-se citar como exemplo o setor do abastecimento público da bacia Metropolitana, identificada como UTD2 (ver Tabela 4.5), que consumiu durante o período um volume total de aproximadamente 282 milhões de m³. Porém, esta unidade apresentava outorgas emitidas para um volume total máximo de aproximadamente 169 milhões de m³. Isto é, a UTD2 consome cerca de 113 milhões de m³ a mais do que deveria.

O setor da irrigação em todo o Estado do Ceará o que apresentou a situação mais crítica em relação ao fator TCO. Ao todo dez unidades da irrigação se apresentam com volumes consumidos superiores aos volumes outorgados, demonstrando um desacordo com o instrumento da cobrança pela água bruta nas bacias cearenses. A cobrança em todo o Estado para este setor consumiu ao todo aproximadamente 249 milhões de m³, apresentando outorgas apenas para 59 milhões de m³ (ver Tabela A.13). Ou seja, são consumidos neste setor aproximadamente 190 milhões de m³ sem outorgas emitidas.

A cobrança do abastecimento público em todo o Estado apresenta ao todo nove unidades cujo volume consumido superou o volume outorgado, apresentando também uma situação preocupante. Ao todo este setor consumiu um volume de aproximadamente 454 milhões de m³ para um volume outorgado de aproximadamente 340 milhões de m³ (ver Tabela A.13). Isto é, um total de aproximadamente 114 milhões de m³ de água são consumidos, sem a permissão do Estado.

A cobrança do setor industrial em todo o Estado apresenta ao todo seis unidades que apresentaram volumes consumidos superiores aos volumes outorgados. Como pode ser visto na Tabela A.13, o setor da indústria em todo o Estado teve um volume consumido de aproximadamente 24 milhões de m³, enquanto os volumes outorgados foram de aproximadamente 58 milhões de m³.

Assim, as situações identificadas na pesquisa podem comprometer seriamente tanto instrumento da cobrança pela água bruta como o instrumento da outorga de direito de uso da água em todo o Estado do Ceará. Novamente, na opinião do autor o instrumento de fiscalização dos recursos hídricos nas bacias cearenses se mostra ineficiente e apresentando falhas para coibir esses desacordos identificados.

4.2.6 Taxa de Balanço Hídrico (insumo)

A Taxa de Balanço Hídrico (TBH) irá indicar a contribuição de cada setor de uso no balanço oferta x demanda hídrica de uma bacia hidrográfica. Na Tabela 4.6 são apresentados os parâmetros usados na determinação deste fator.

Tabela 4.6 – Determinação da Taxa de Balanço Hídrico para cada UTD

UTD	Demanda (m ³ /s)	Oferta (m ³ /s)	TBH	UTD	Demanda (m ³ /s)	Oferta (m ³ /s)	TBH
UTD1	7,99	20,62	0,387	UTD18	2,53	6,44	0,393
UTD2	7,48	20,62	0,363	UTD19	0,15	1,15	0,130
UTD3	0,74	20,62	0,036	UTD20	0,20	1,15	0,174
UTD4	0,23	11,82	0,019	UTD21	0,02	1,15	0,013
UTD5	0,31	11,82	0,026	UTD22	0,06	12,39	0,005
UTD6	2,63	11,82	0,223	UTD23	1,10	12,39	0,089
UTD7	0,11	21,74	0,005	UTD24	6,21	12,39	0,501
UTD8	0,35	21,74	0,016	UTD25	0,02	3,22	0,006
UTD9	0,45	21,74	0,021	UTD26	0,50	3,22	0,155
UTD10	0,05	31,88	0,002	UTD27	0,09	3,22	0,028
UTD11	0,13	31,88	0,004	UTD28	0,01	6,94	0,001
UTD12	4,90	31,88	0,154	UTD29	0,52	6,94	0,075
UTD13	0,21	1,55	0,135	UTD30	0,00	6,94	0,000
UTD14	0,23	1,55	0,148	UTD31	0,23	21,66	0,011
UTD15	1,72	1,55	1,000	UTD32	0,32	21,66	0,015
UTD16	0,15	6,44	0,023	UTD33	8,75	21,66	0,404
UTD17	0,85	6,44	0,132				

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Os parâmetros usados para a composição deste termo se encontram nas Tabelas 3.2 e 3.3, enquanto que o valor deste termo pode ser obtido por meio da Equação (3.11). Vale salientar que quanto mais próximo da unidade for este termo de uma determinada UTD, maior a ineficiência desta UTD, podendo atingir a ineficiência máxima na unidade. Por outro lado, quanto menor for este termo, maior a eficiência de uma determinada UTD.

A análise dos dados apresentados na Tabela 4.6 mostra que excetuando a bacia do Baixo Jaguaribe, as demais bacias do Estado se em situação que podem ser consideradas bem confortáveis em relação ao atendimento da demanda hídrica por parte da oferta hídrica.

Logo a situação mais crítica ocorre na bacia do Baixo Jaguaribe (ver Tabela 4.6), uma vez que a disponibilidade hídrica, que é igual a $1,55 \text{ m}^3/\text{s}$, não é suficiente para atender a demanda hídrica, que é de $2,16 \text{ m}^3/\text{s}$. Então, pode-se concluir que a bacia apresenta um déficit hídrico de $0,61 \text{ m}^3/\text{s}$.

É importante ressaltar que os dados da disponibilidade (oferta) hídrica e da demanda hídrica em uma bacia hidrográfica é de vital importância para a instrução do instrumento de outorga de direito pelo uso da água, além de um eficiente gerenciamento dos recursos hídricos, sendo fornecidos pelo sistema de informações sobre os recursos hídricos.

A disponibilidade hídrica de uma bacia tanto varia no espaço como no tempo, sendo, portanto, estimada por meio do regime hidrológico da bacia. Pode-se afirmar que a disponibilidade é uma informação básica utilizada no auxílio a tomada de decisões pelos gestores no gerenciamento das águas em uma bacia. Enquanto a demanda hídrica de uma bacia pode ser estimada a partir do cadastramento dos usuários de recursos hídricos dessa bacia, sendo uma informação dinâmica e contínua no tempo.

É importante que o sistema de informações sobre recursos hídricos, um dos instrumentos da PERH, esteja sempre atualizado de modo a fornecer um panorama mais realista possível da situação que se encontra os recursos hídricos nas bacias hidrográficas do Estado. Porém, o que se observou nesta pesquisa de doutorado é que os dados referentes as disponibilidades e demandas no Estado não se encontram atualizados o que mostra uma ineficiência desse instrumento.

4.2.7 Taxa de Faturamento por Volume Consumido (produto)

A Taxa de Faturamento por Volume Consumido (TFVC) irá indicar o preço, em R\$, do m^3 de água consumida nas bacias hidrográficas, para cada setor de uso considerado que compõe o conjunto de UTDs analisadas na pesquisa.

Os parâmetros usados para a determinação do TFVC em cada UTD deste trabalho estão ilustrados na Tabela 4.7. Vale salientar que o preço pago pelo m^3 consumido em duas bacias, para um mesmo setor usuário, podem assumir valores bem diferentes, como por exemplo, a UTD1 (indústria da bacia Metropolitana), apresenta um valor de aproximadamente R\$ 1,41 (Um real e quarenta e um centavos) por cada m^3 consumido, enquanto a UTD16 (indústria da bacia do Salgado), apresenta um valor aproximado de R\$ 0,43 (quarenta e três centavos) por cada m^3 consumido.

Tabela 4.7 – Determinação da Taxa de Faturamento por Volume Consumido (TFVC) para cada UTD

UTD	Fat. (R\$)	Cons. (m ³)	TFVC (R\$/m ³)	UTD	Fat. (R\$)	Cons. (m ³)	TFVC (R\$/m ³)
UTD1	29.866.171,45	21.201.494,13	1,40868	UTD18	16.618,23	8.932.232,08	0,00186
UTD2	28.223.806,33	281.970.523,29	0,10009	UTD19	302.187,35	205.910,00	1,46757
UTD3	175.603,94	17.302.943,33	0,01015	UTD20	214.485,37	6.545.175,87	0,03277
UTD4	67.395,03	156.165,73	0,43156	UTD21	410,28	513.646,44	0,00080
UTD5	296.192,18	9.038.515,89	0,03277	UTD22	294.611,26	681.287,10	0,43243
UTD6	44.633,69	22.654.909,29	0,00197	UTD23	1.278.688,19	39.020.086,73	0,03277
UTD7	11.038,14	25.577,26	0,43156	UTD24	1.095,52	934.976,11	0,00117
UTD8	492.255,98	15.021.544,23	0,03277	UTD25	32.535,06	75.389,47	0,43156
UTD9	10.248,18	2.655.018,85	0,00386	UTD26	140.384,72	4.283.941,04	0,03277
UTD10	276.520,40	640.746,23	0,43156	UTD27	23,83	49.027,00	0,00049
UTD11	445.120,96	13.583.183,74	0,03277	UTD28	38.677,26	89.622,00	0,43156
UTD12	889.856,13	149.909.007,51	0,00594	UTD29	530.558,01	16.190.356,62	0,03277
UTD13	64.512,40	149.486,77	0,43156	UTD30	16.582,35	9.567.450,32	0,00173
UTD14	171.278,31	5.226.680,00	0,03277	UTD31	10.920,71	25.305,22	0,43156
UTD15	43.252,74	21.055.233,12	0,00205	UTD32	493.269,09	15.052.458,03	0,03277
UTD16	252.011,30	583.954,33	0,43156	UTD33	26.996,31	15.407.150,77	0,00175
UTD17	1.574.518,07	48.047.543,68	0,03277				

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Por força de lei as tarifas de consumo em todo o Estado do Ceará são diferenciadas de acordo com a categoria de uso a que se destina a água (ver Tabela 2.1). Dentro de uma mesma categoria as tarifas podem ser diferenciadas de acordo com quem realiza a captação: próprio usuário ou a COGERH.

Para um mesmo setor de uso a cobrança pela água bruta pode ser considerada como constante em todo o Estado, o que pode ser considerado como um desacordo com a PERH que prever que na definição das tarifas de consumo devem ser consideradas as peculiaridades das bacias hidrográficas.

Vale salientar que foi adotada a metodologia dos subsídios cruzados intersetoriais para definição das tarifas. Desta forma a indústria apresenta as maiores tarifas, seguidas do abastecimento público e por fim da irrigação, que apresenta as menores tarifas para o consumo de água.

Em outras palavras, o termo TFVC representa quanto foi faturado durante o período considerado, em R\$, por cada metro cúbico de água consumida nos setores de uso considerados nesta pesquisa.

A cobrança pela água bruta da indústria nas bacias cearenses se destaca das demais pelo fato de apresentarem os maiores faturamentos por metro cúbico nas suas unidades. Em todo o Estado do Ceará, o setor da indústria faturou com a cobrança aproximadamente R\$ 1.309,70 (Um mil, trezentos e nove reais e setenta centavos) por cada 1.000 m³ de água consumida, gerando um faturamento total de aproximadamente 31,2 milhões de reais.

Em seguida se destaca o setor do abastecimento, que faturou com a cobrança, em todo o Estado, aproximadamente R\$ 74,59 (Setenta e quatro reais e cinquenta e nove centavos) por cada 1.000 m³ de água bruta consumida, gerando um faturamento total de aproximadamente 33,9 milhões de reais.

Por fim, a cobrança pela água bruta utiliza na irrigação faturou, em todo o Estado, cerca de R\$ 4,92 (Quatro reais e noventa e dois centavos) por cada 1.000 m³ de água bruta, gerando um faturamento de aproximadamente 1,2 milhão de reais.

Em relação a esse fator, é nítido que a cobrança pela água bruta do setor da irrigação se apresenta com uma ineficiência muito grande em relação aos demais setores considerados, tanto à indústria como ao abastecimento público.

4.2.8 Faturamento Médio (produto)

O Faturamento Médio (FM) irá indicar a média faturada por todos os usuários faturados do setor, em R\$/usuário, de uma UTD específica. Vale ressaltar que quanto maior for esta taxa para uma UTD, maior a sua eficiência.

Na Tabela 4.8 são apresentados os parâmetros usados para a determinação desta taxa em cada UTD do modelo. Para o cálculo do termo FM usou-se uma média aritmética, definida pela Equação (3.14), de modo que possam ser diminuídas as distorções dos valores faturados totais com a cobrança em cada UTD, tornando assim mais justas as comparações.

Tabela 4.8 – Determinação do Faturamento Médio (FM) para cada UTD

UTD	Fat. (R\$)	N _{fat}	FM (R\$/usuário)	UTD	Fat. (R\$)	N _{fat}	FM (R\$/usuário)
UTD1	29.866.171,45	121	246.827,86	UTD18	16.618,23	12	1.384,85
UTD2	28.223.806,33	42	671.995,39	UTD19	302.187,35	3	100.729,12
UTD3	175.603,94	48	3.658,42	UTD20	214.485,37	6	35.747,56
UTD4	67.395,03	40	1.684,88	UTD21	410,28	3	136,76
UTD5	296.192,18	14	21.156,58	UTD22	294.611,26	53	5.558,70
UTD6	44.633,69	25	1.785,35	UTD23	1.278.688,19	35	36.533,95
UTD7	11.038,14	19	580,95	UTD24	1.095,52	10	109,55
UTD8	492.255,98	21	23.440,76	UTD25	32.535,06	12	2.711,26
UTD9	10.248,18	25	409,93	UTD26	140.384,72	6	23.397,45
UTD10	276.520,40	26	10.635,40	UTD27	23,83	1	23,83
UTD11	445.120,96	17	26.183,59	UTD28	38.677,26	13	2.975,17
UTD12	889.856,13	73	12.189,81	UTD29	530.558,01	11	48.232,55
UTD13	64.512,40	87	741,52	UTD30	16.582,35	26	637,78
UTD14	171.278,31	7	24.468,33	UTD31	10.920,71	11	992,79
UTD15	43.252,74	12	3.604,40	UTD32	493.269,09	13	37.943,78
UTD16	252.011,30	60	4.200,19	UTD33	26.996,31	87	310,30
UTD17	1.574.518,07	32	49.203,69				

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Por intermédio da Tabela 4.8 pode-se observar que as UTDs da irrigação são as unidades que apresentaram os menores faturamentos com a cobrança pela água bruta no Estado do Ceará. Como exemplo, pode-se citar a UTD27, da bacia do Coreaú, que apresentou um faturamento de R\$ 23,83 (Vinte e três reais e oitenta e três centavos).

A cobrança do setor do abastecimento público em todo o Estado obteve um faturamento de R\$ 165.983,12 (Seiscentos e sessenta e cinco mil, novecentos e oitenta e três reais e doze centavos) por cada um dos 204 usuários faturados do setor, obtendo um faturamento total de R\$ 33.860.557,21 (Trinta e três milhões, oitocentos e sessenta mil, quinhentos e cinquenta e sete reais e vinte um centavos).

Em seguida, se apresenta o setor da indústria que obteve um faturamento com a cobrança pela água bruta em todo o Estado de R\$ 70.149,62 (Setenta mil, cento e quarenta e nove reais e sessenta e dois centavos) por cada um dos seus 445 usuários faturados, gerando

um faturamento total de R\$ 31.216.580,36 (Trinta e um milhões, duzentos e dezesseis mil, quinhentos e oitenta reais e trinta e seis centavos).

Por fim, tem-se o setor da irrigação que obteve com a cobrança pela água bruta em todo o Estado um faturamento de R\$ 3.805,35 (Três mil, oitocentos e cinco reais e trinta e cinco centavos) por cada um dos seus 322 usuários, gerando um faturamento total de R\$ 1.225.321,20 (Um milhão, duzentos e vinte e cinco mil, trezentos e vinte e um reais e vinte centavos).

4.2.9 Arrecadação Média (produto)

A Arrecadação Média (AM) irá indicar média arrecada por cada usuário faturado durante o período, em R\$/usuário, nas UTDs do modelo proposto. Na Tabela 4.9 são apresentados os parâmetros usados para a determinação deste termo em cada UTD.

Tabela 4.9 – Determinação da Arrecadação Média (AM) para cada UTD

UTD	Arrec. (R\$)	N _{fat}	AM (R\$/usuário)	UTD	Arrec. (R\$)	N _{fat}	AM (R\$/usuário)
UTD1	29.325.593,75	121	242.360,28	UTD18	11.391,80	12	949,32
UTD2	27.712.955,44	42	659.832,27	UTD19	293.031,07	3	97.677,02
UTD3	172.425,51	48	3.592,20	UTD20	207.986,46	6	34.664,41
UTD4	46.799,11	40	1.169,98	UTD21	397,85	3	132,62
UTD5	205.675,85	14	14.691,13	UTD22	248.092,14	53	4.680,98
UTD6	30.993,63	25	1.239,75	UTD23	1.076.783,33	35	30.765,24
UTD7	6.168,11	19	324,64	UTD24	922,54	10	92,25
UTD8	275.072,64	21	13.098,70	UTD25	14.458,58	12	1.204,88
UTD9	5.726,68	25	229,07	UTD26	62.386,97	6	10.397,83
UTD10	172.825,25	26	6.647,13	UTD27	10,59	1	10,59
UTD11	278.200,60	17	16.364,74	UTD28	37.961,73	13	2.920,13
UTD12	556.160,08	73	7.618,63	UTD29	520.742,69	11	47.340,24
UTD13	43.010,42	87	494,37	UTD30	16.275,58	26	625,98
UTD14	114.191,25	7	16.313,04	UTD31	8.008,16	11	728,01
UTD15	28.836,60	12	2.403,05	UTD32	361.714,22	13	27.824,17
UTD16	172.753,75	60	2.879,23	UTD33	19.796,39	87	227,54
UTD17	1.079.332,14	32	33.729,13				

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Para a determinação desse termo optou-se pelo uso de uma média aritmética, dada pela Equação (3.15), de modo a diminuir as distorções entre valores arrecadados com a cobrança pela água bruta entre as UTDs da pesquisa, sendo possível assim obter uma comparação mais justa.

Semelhante ao faturamento, a cobrança pela água bruta do abastecimento público foi o setor que obteve a maior arrecadação no período em todo o Estado, obtendo uma recita total de R\$ 31.895.041,59 (Trinta e um milhões, oitocentos e noventa e cinco mil, quarenta e um reais e cinquenta e nove centavos). Este montante arrecadado representa cerca de 97,3% da cobrança faturada para os usuários do abastecimento público em todo o Estado.

Em seguida, a cobrança do setor da indústria em todo o Estado obteve uma receita total arrecadada de R\$ 30.368.702,07 (Trinta milhões, trezentos e sessenta e oito mil, setecentos e dois reais e sete centavos). Esta receita arrecadada pelo setor equivale a cerca de 94,2% de toda a cobrança faturada para os usuários da indústria em todas as bacias cearenses.

Por fim, se apresenta o setor da irrigação que obteve uma recita total arrecadada com a cobrança pela água bruta de R\$ 842.937,25 (oitocentos e quarenta e dois mil, novecentos e trinta e sete reais e vinte e cinco centavos). Este valor arrecadado pelo setor da irrigação representa em torno de 68,8% da cobrança faturadas para os usuários do setor.

4.3 Seleção de fatores

Pode-se afirmar que o conjunto de fatores selecionados em uma análise por envoltória de dados apresenta um papel vital no cálculo das eficiências de cada UTD em uma avaliação, e que qualquer modificação nesse conjunto pode acarretar em impactos significativos no resultado dessa avaliação. Ou seja, diferentes conjuntos de fatores podem gerar conclusões diferentes em um mesmo grupo de UTD que se pretende fazer uma análise.

Na metodologia proposta foram sugeridas ao todo nove fatores, sendo seis insumos e três produtos, para um total de 33 UTDs a serem analisadas. Porém, vale ressaltar que o uso de um grande número de fatores (variáveis) pode acarretar em um grande número de UTDs na fronteira de eficiência, distorcendo assim o resultado real.

Uma recomendação prática nos trabalhos mais recentes é a de que nos modelos DEA o número de DMUs seja no mínimo cinco vezes maior que o número de variáveis (insumos + produtos), para que haja pelo menos uma face de dimensão completa na fronteira eficiente, ou seja, pesos (multiplicadores) zero (FERREIRA; GOMES, 2009, p. 87).

Desta forma, com nove fatores recomenda-se que sejam avaliadas, pelos modelos AED, ao todo 45 UTDs. Na impossibilidade de se aumentar o número de UTD, pretende-se então diminuir o número de fatores, de modo que o número de UTDs seja pelo menos cinco vezes o número de fatores.

Logo, do conjunto de fatores sugeridos na metodologia se propõe a aplicação do método I-O stepwise exaustivo completo de modo a definir quais desses fatores sugeridos anteriormente são significativas na avaliação da eficiência.

Este método parte do pressuposto que a seleção de fatores tem de obedecer ao princípio da máxima relação causal entre insumos e produtos. O objetivo é o de aumentar a eficiência média com um número limitado de fatores (SENRA, et al., 2007, p. 193).

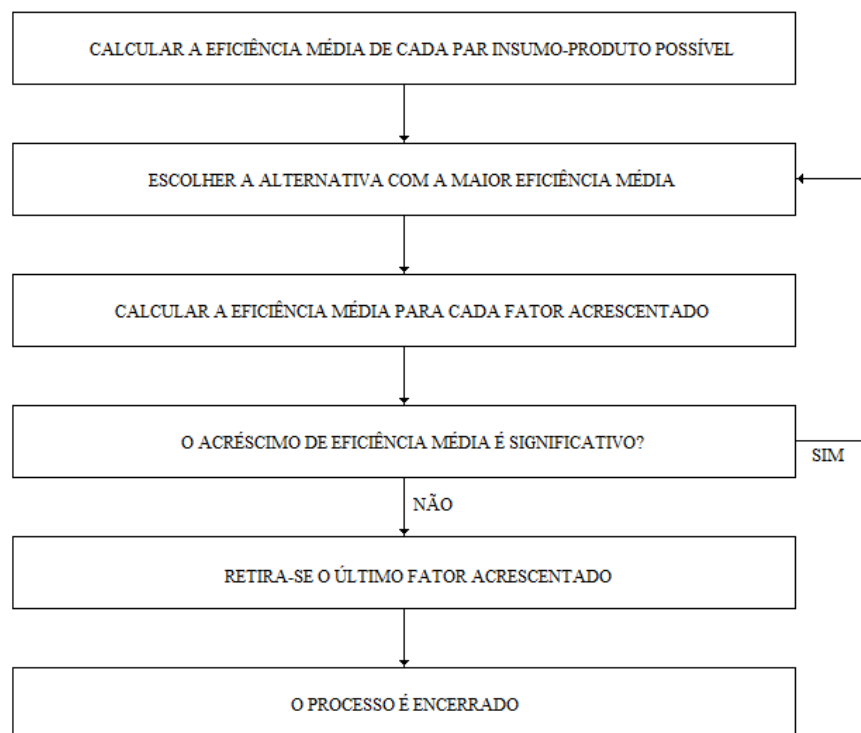
4.3.1 Método I-O stepwise exaustivo completo

O método envolve os seguintes passos:

1. Para cada par insumo/produto, calcula-se a eficiência média do conjunto de UTDs analisadas;
2. O par insumo/produto que obteve a maior eficiência média para o conjunto de UTDs é então escolhido;
3. Ao par escolhido se acrescenta mais um fator e em seguida roda-se o modelo, calculando a eficiência média das UTDs;
4. Escolhe-se para entrar no modelo o fator que gerar a maior eficiência média das UTDs;
5. Se o aumento da eficiência for significativo, acrescenta-se mais um fator ao modelo, repetindo assim o passo 4. Em caso contrário, retira-se o último fator e encerra-se o processo.

Por intermédio da Figura 4.2 pode-se mostra as etapas envolvidas no método I-O stepwise exaustivo completo. Vale salientar que após encerrado o processo tem-se um conjunto de fatores que definirá o modelo final de avaliação do conjunto de unidades.

Figura 4.2 – Fluxograma das etapas do método I-O exaustivo completo



Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Vale lembrar que o decisor pode também escolher o momento em que o algoritmo deve ser encerrado. Os fatores sugeridos são apresentados no Quadro 4.1.

Quadro 4.1 – Fatores (insumos e produtos) sugeridos para o modelo

Insumos	Produtos
<ul style="list-style-type: none"> • Percentual de Usuários não Faturados (PUF); • Percentual de Usuários não Outorgados (PUO); • Volume Médio Consumido (VMC); • Percentual de Usuários com Consumo não Aceitável (PCA); • Taxa de Consumo por Outorga (TCO); • Taxa de Balanço Hídrico (TBH). 	<ul style="list-style-type: none"> • Taxa de Faturamento por Volume Consumido (TFVC); • Faturamento Médio (FM); • Arrecadação Média (AM).

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

4.3.1.1 Primeira etapa

Como dito anteriormente será aplicado o modelo EAD, orientado a produto, para a determinação das eficiências relativas das 33 UTDs do modelo (ver Quadro 3.1). Como ferramenta computacional será utilizado o DEA-Solver, professional version 7.0, da SAITECH inc., para rodar o modelo proposto.

A primeira etapa deste método consiste em rodar o modelo EAD para cada par insumo/produto, listados no Quadro 4.1. Como há seis insumos e três produtos, têm-se então ao todo 18 combinações possíveis. Na Tabela 4.10 são apresentadas essas 18 combinações possíveis com as respectivas eficiências médias do conjunto de UTDs do modelo.

Tabela 4.10 – Eficiência média do conjunto de UTDs e a quantidade de UTDs eficientes das combinações possíveis da Etapa 1

	Fatores		Nº_UTDs eficientes	Eficiência média
	Insumo	Produto		
1	PUF	TFVC	3	0,226553
2	PUF	FM	2	0,108237
3	PUF	AM	2	0,102092
4	PUO	TFVC	3	0,209860
5	PUO	FM	2	0,109853
6	PUO	AM	2	0,099983
7	VMC	TFVC	2	0,298627
8	VMC	FM	4	0,251405
9	VMC	AM	4	0,223398
10	PCA	TFVC	3	0,183623
11	PCA	FM	2	0,097215
12	PCA	AM	2	0,092451
13	TCO	TFVC	2	0,181946
14	TCO	FM	2	0,117348
15	TCO	AM	2	0,110880
16	TBH	TFVC	3	0,327360
17	TBH	FM	3	0,242342
18	TBH	AM	3	0,237209

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Na Tabela 4.10 também apresenta-se a quantidade de UTDs eficientes em cada uma das combinações possíveis de insumo/produto. Assim, conforme pode ser visualizado nesta tabela o conjunto formado pelo insumo Taxa de Balanço Hídrico (TBH), e pelo produto Taxa de Faturamento por Volume Consumido (TFVC), foi à combinação que apresentou a maior eficiência média, sendo igual a 0,327360.

O método indica que o insumo de maior relevância para o cálculo da eficiência é o TBH, que indica a contribuição do setor de uso no balanço hídrico de uma determinada bacia hidrográfica. Este fator varia de 0 (eficiência máxima) a 1 (ineficiência máxima).

Os dados para obtenção deste fator são obtidos junto aos planos, tanto de bacia como estadual, de recursos hídricos. Porém, pode-se afirmar que para usar dados atuais é necessário que o sistema de informação esteja sempre sendo atualizado e atue de forma eficiente.

Da mesma forma, o método indicou que o produto de maior relevância foi o TFVC, que indica a razão entre o faturamento total de um setor de uso em R\$ pelo volume efetivamente consumido em m³ pelo setor, em uma bacia. Ou seja, em outras palavras irá indicar o preço em R\$ do metro cúbico da água. Sabe-se que devido aos subsídios cruzados o setor da indústria paga mais do que o setor da irrigação.

Este termo teve uma variação de 0,00049 até 1,46757. Os dados para composição deste termo são obtidos juntos à COGERH no relatório referente à cobrança pelo uso da água por bacia hidrográfica.

Nessa combinação, as seguintes UTDs se apresentaram na fronteira de eficiência: a UTD19 (indústria na bacia do Litoral); a UTD28 (indústria na bacia do Parnaíba); e a UTD30 (irrigação na bacia do Parnaíba).

4.3.1.2 Segunda etapa

O próximo passo do método para selecionar os fatores do modelo consiste em acrescentar mais um fator, insumo ou produto. Em seguida roda-se o modelo para cada nova combinação, obtendo-se assim a eficiência média das UTDs e escolhendo a combinação que apresenta maior eficiência.

Ao todo foram sete combinações, listadas na Tabela 4.11, com as respectivas eficiências médias e a quantidade de UTDs na fronteira eficiente. De acordo com esta tabela,

a combinação que apresenta a maior eficiência média aquela formada pelos fatores TBH (insumo), TFVC e FM (produto).

Tabela 4.11 – Eficiência média do conjunto de UTDs e a quantidade de UTDs eficientes das combinações possíveis da Etapa 2

	Fatores		Nº_UTDs eficientes	Eficiência média
	Insumo	Produto		
1	PUF, TBH	TFVC	5	0,344089
2	PUO, TBH	TFVC	8	0,438977
3	VMC, TBH	TFVC	4	0,361887
4	PCA, TBH	TFVC	4	0,337773
5	TCO, TBH	TFVC	5	0,392737
6	TBH	TFVC, FM	7	0,454893
7	TBH	TFVC, AM	7	0,443070

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

A medida das eficiências das UTDs calculadas por meio dessa combinação resultou em uma eficiência média de 0,454893. Assim, pelo ganho significativo de eficiência o modelo teve o acréscimo do fator FM (produto), o que demonstra a relevância desse fator nas medidas das eficiências das UTDs.

O fator FM indica a taxa de faturamento médio, em R\$, por usuário faturado no setor de uso da bacia hidrográfica. Em outras palavras, indica quanto um usuário de uma categoria de uso fatura em média durante o ano. Os dados para composição deste termo também são obtidos junto ao relatório emitido pela COGERH referente ao faturamento da cobrança nas bacias de todo o Estado.

As UTDs que se apresentam na fronteira de eficiência são as seguintes: UTD1 (indústria na bacia Metropolitana); UTD2 (abastecimento na bacia Metropolitana); UTD10 (indústria na bacia do Médio Jaguaribe); UTD11 (abastecimento na bacia do Médio Jaguaribe); UTD19 (indústria na bacia do Litoral); UTD28 (indústria na bacia do Parnaíba); e UTD30 (abastecimento público).

Pode-se observar que a eficiência média do conjunto de UTDs sofreu um aumento percentual de aproximadamente 28,0% em relação à etapa anterior, variando de 0,327360 para 0,454893. Assim, outro fator deve ser acrescentado ao modelo.

4.3.1.3 Terceira etapa

Novamente, acrescenta-se mais um fator, insumo ou produto, ao conjunto formado pelos fatores TBH, TFVC e FM. Nesta etapa foram ao todo seis combinações, listadas na Tabela 4.12, com as respectivas eficiências médias e a quantidade de UTDs na fronteira eficiente.

Tabela 4.12 – Eficiência média do conjunto de UTDs e a quantidade de UTDs eficientes das combinações possíveis da Etapa 3

	Fatores		Nº_UTDs eficientes	Eficiência média
	Insumo	Produto		
1	PUF, TBH	TFVC, FM	8	0,470187
2	PUO, TBH	TFVC, FM	12	0,525498
3	VMC, TBH	TFVC, FM	8	0,503343
4	PCA, TBH	TFVC, FM	7	0,470216
5	ICO, TBH	TFVC, FM	9	0,505901
6	TBH	TFVC, FM, AM	7	0,455449

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Conforme a Tabela 4.12, a combinação que apresenta maior eficiência média para as UTDs é o conjunto dos fatores, PUO e TBH (insumos), e TFVC e FM (produtos), apresentando uma eficiência média de 0,525498. Desta forma, pelo acréscimo significativo de eficiência acrescenta-se ao modelo o fator PUO (insumo), mostrando a relevância desse critério de avaliação no cálculo das eficiências.

O fator PUO indica o percentual de usuários faturados por categoria que não possuem outorgas emitidas pela SRH e que por lei não deviam estar pagando pelo uso de água na bacia hidrográfica.

Este fator varia de 0 (eficiência máxima), quando todos os usuários faturados estão regularmente outorgados pelo Estado, até 1 (ineficiência máxima), quando nenhum usuário faturado possui outorga para captação.

Para a composição deste fator, são usados os dados disponibilizados pela COGERH através de relatórios referentes, tanto ao faturamento com a cobrança como às outorgas emitidas nas bacias cearenses.

Nesta etapa as UTDs que se apresentam na fronteira de eficiência, ao todo 12, são: UTD1 (indústria na bacia Metropolitana); UTD2 (abastecimento na bacia Metropolitana);

UTD7 (indústria na bacia do Alto Jaguaribe); UTD8 (abastecimento na bacia do Alto Jaguaribe); UTD10 (indústria na bacia do Médio Jaguaribe); UTD11 (abastecimento público na bacia do Médio Jaguaribe); UTD16 (indústria na bacia do Salgado); UTD18 (indústria na bacia do Litoral); UTD27 (irrigação na bacia do Coreaú); UTD28 (indústria na bacia do Parnaíba); UTD30 (irrigação na bacia do Parnaíba); UTD32 (abastecimento na bacia do Banabuiú).

A eficiência média das UTDs do modelo teve um aumento percentual de aproximadamente 13,4%, passando de 0,454893 para 0,525498. Este aumento é considerado significativo e neste caso mais outra fator deve ser acrescentada ao modelo.

4.3.1.4 Quarta etapa

Ao conjunto formado pelos insumos, PUO e TBH, e os produtos, TFVC e FM, é acrescentado mais um fator e em seguida roda-se o modelo. Nesta etapa foram ao todo cinco combinações, listadas na Tabela 4.13, com as respectivas eficiências médias e o número de UTDs na fronteira eficiente.

Tabela 4.13 – Eficiência média do conjunto de UTDs e a quantidade de UTDs eficientes das combinações possíveis da Etapa 4

	Fatores		Nº_UTDs eficientes	Eficiência média
	Insumo	Produto		
1	PUF, PUO, TBH	TFVC, FM	15	0,556824
2	PUO, VMC, TBH	TFVC, FM	12	0,573584
3	PUO, PCA, TBH	TFVC, FM	12	0,559794
4	PUO, TCO, TBH	TFVC, FM	12	0,525970
5	PUO, TBH	TFVC, FM, AM	12	0,526070

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Conforme a Tabela 4.13, a combinação que apresenta maior eficiência média para as UTDs foi a composta pelos fatores, PUO, VMC e TBH (insumos), e TFVC e MF (produtos), apresentando uma eficiência média de 0,573584. Assim, devido ao ganho em eficiência acrescenta-se o fator VMC (insumo) ao modelo.

O fator VMC indica o volume efetivamente consumido médio, em m³, por cada usuário faturado em uma categoria de uso na bacia. Em outras palavras, indica o volume consumido em média por cada categoria nas bacias. Os dados para composição deste fator

foram obtidos junto ao relatório do faturamento com a cobrança pelo uso da água nas bacias cearenses.

Nesta etapa as UTDs que estão na fronteira de eficiência, são ao todo 12, a saber: UTD1 (indústria na bacia Metropolitana); UTD2 (abastecimento na bacia Metropolitana); UTD7 (indústria na bacia do Alto Jaguaribe); UTD8 (abastecimento na bacia do Alto Jaguaribe); UTD10 (indústria na bacia do Médio Jaguaribe); UTD11 (abastecimento público na bacia do Médio Jaguaribe); UTD16 (indústria na bacia do Salgado); UTD19 (indústria na bacia do Litoral); UTD27 (irrigação na bacia do Coreaú); UTD28 (indústria na bacia do Parnaíba); UTD30 (irrigação na bacia do Parnaíba); UTD32 (abastecimento na bacia do Banabuiú).

A eficiência média do conjunto de UTDs analisado aumentou de 0,525498 para 0,573584, que corresponde um aumento percentual de aproximadamente 8,4%. Desta forma, pode-se continuar o processo, introduzindo mais um fator ao modelo.

4.3.1.5 Quinta etapa

Na quinta etapa, mais um fator deve ser acrescentado ao modelo, formado pelos insumos, PUO, VMC e TBH, e os produtos, TFVC e FM. Nesta etapa, são ao todo quatro combinações, listadas na Tabela 4.14, com as respectivas eficiências médias e o número de UTDs na fronteira eficiente.

Tabela 4.14 – Eficiência média do conjunto de UTDs e a quantidade de UTDs eficientes das combinações possíveis da Etapa 5

	Fatores		Nº_UTDs eficientes	Eficiência média
	Insumo	Produto		
1	PUF, PUO, VMC, TBH	TFVC, FM	16	0,587642
2	PUO, VMC, PCA, TBH	TFVC, FM	13	0,647955
3	PUO, VMC, TCO, TBH	TFVC, FM	12	0,574056
4	PUO, VMC, TBH	TFVC, FM, AM	12	0,573853

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Conforme a Tabela 4.14, a combinação que apresenta maior eficiência média para as UTDs foi à composta pelos insumos, PUO, VMC, PCA e TBH, em conjunto com os produtos, TFVC e FM, apresentando uma eficiência média de 0,647955. Ou seja, nesta etapa acrescentou-se o fator PCA (insumo).

Dentre os usuários que estão faturados e outorgados ao mesmo tempo, este termo indica o percentual desses usuários em que o volume consumido ou é superior ao volume outorgado ou representa menos do que 70% do volume outorgado.

O termo PCA irá variar de 0 (eficiência máxima), todos os usuários apresentam consumo aceitável, até 1 (ineficiência máxima), todos os usuários apresentam um consumo fora da faixa considerada aceitável, ver Equação (3.6).

Para composição deste termo foi realizado um cruzamento das informações de cada usuário, que ao mesmo tempo está faturado e outorgado, referente tanto ao relatório de cobrança como ao relatório de outorga nas bacias do Estado.

São ao todo 13 UTDs na fronteira de eficiência, a saber: UTD1 (indústria na bacia Metropolitana); UTD2 (abastecimento na bacia Metropolitana); UTD7 (indústria na bacia do Alto Jaguaribe); UTD8 (abastecimento na bacia do Alto Jaguaribe); UTD10 (indústria na bacia do Médio Jaguaribe); UTD11 (abastecimento público na bacia do Médio Jaguaribe); UTD13 (indústria na bacia do Baixo Jaguaribe); UTD16 (indústria na bacia do Salgado); UTD19 (indústria na bacia do Litoral); UTD27 (irrigação na bacia do Coreaú); UTD28 (indústria na bacia do Parnaíba); UTD30 (irrigação na bacia do Parnaíba); UTD32 (abastecimento na bacia do Banabuiú).

A eficiência nesta etapa aumentou de 0,525498 para 0,647955, representando um aumento significativo de 18,9%. Assim, mais um fator, insumo ou produto, deve ser incluída no modelo.

4.3.1.6 Sexta etapa

Assim, outro fator deve ser acrescentado ao modelo, que é formado pelos insumos, PUO, PCA, VMC e TBH, em conjunto com os produtos, TFVC e FM. Nesta etapa, são ao todo três combinações, listadas na Tabela 4.15, com as respectivas eficiências médias e o número de UTDs na fronteira eficiente. De acordo com a Tabela 4.15, o modelo composto pelos insumos, PUF, PUO, VMC, PCA e TBH, e pelos produtos, TFVC e FM apresenta uma eficiência média para o conjunto de UTDs igual a 0,652379.

Tabela 4.15 – Eficiência média do conjunto de UTDs e a quantidade de UTDs eficientes das combinações possíveis da Etapa 6

Fatores		Nº_UTDs eficientes	Eficiência média
Insumo	Produto		
1	PUF, PUO, VMC, PCA, TBH	16	0,652379
2	PUO, VMC, PCA, TCO, TBH	13	0,648427
3	PUO, VMC, PCA, TBH	13	0,648974

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Como o aumento da eficiência médias das UTDs não foi significativo, ou seja, o aumento de 0,647955 para 0,652379 corresponde a um ganho de menos de 1%. Assim, de acordo com o método retira-se o último fator acrescentado, que neste caso foi a PUF, e o processo é encerrado.

4.3.2 Modelo final

Por meio do método I-O stepwise para seleção de fatores, obteve-se o seguinte modelo final, apresentado no Quadro 4.2 para medição da eficiência relativa das UTDs propostas na metodologia (ver Quadro 3.1).

Quadro 4.2 – Fatores (insumos e produtos) selecionados para o modelo final

Insumos	Produtos
<ul style="list-style-type: none"> • Percentual de Usuários não Outorgados (PUO); • Volume Médio Consumido (VMC); • Percentual de Usuários com Consumo não Aceitável (PCA); • Taxa de Balanço Hídrico (TBH). 	<ul style="list-style-type: none"> • Taxa de Faturamento por Volume Consumido (TFVC); • Faturamento Médio (FM).

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

De acordo com o Quadro 4.2, o modelo final apresenta um total de 6 fatores, ou critérios de avaliação, sendo 4 insumos e 2 produtos, para a avaliação da eficiência relativa de um conjunto de UTDs. A relação entre o total de UTDs e o total de fatores é igual a 5,5, o que significa uma boa representação da fronteira de eficiência na análise por EAD.

O método I-O para seleção de variável, além de selecionar os fatores (insumos e produtos) de maior relevância para se determinar a eficiência das UTDs, indica a ordem de importância dos mesmos. No caso dos insumos, tem-se a seguinte ordem de importância:

1. Taxa de Balanço Hídrico (TBH);
2. Percentual de Usuários não Outorgados (PUO);
3. Volume Médio Consumido (VMC);
4. Percentual de Usuários com Consumo não Aceitável (PCA).

Enquanto, no caso dos fatores de produto, o método indicou a seguinte ordem de importância:

1. Taxa de Faturamento por Volume Consumido (TFVC);
2. Faturamento Médio (FM).

Vale salientar que o método indicou ainda que o fator de produto FM se mostrou com uma importância maior do que os insumos PUO, VMC e PCA.

4.4 Aplicação do modelo final

O modelo final, proposto no Quadro 4.2, será usado com o objetivo de obter a eficiência relativa das 33 UTDs (listadas no Quadro 3.1).

Assim, o próximo passo consiste em rodar, por intermédio do DEA-Solver, orientado a produto, o modelo final para medir as eficiências relativas das UTDs sugeridas e em seguida será feita uma breve discussão sobre os principais relatórios emitidos pelo programa.

4.4.1 Análise de eficiência do conjunto de UTDs

Assim, na Tabela 4.16 estão listadas as UTDs analisadas em ordem decrescente de desempenho, com as suas respectivas medidas de eficiências relativas. Conforme mostrado na tabela, são ao todo treze UTDs que atingiram a eficiência máxima (igual à unidade), enquanto 20 UTDs se apresentam com algum grau de ineficiência. Dentre as UTDs que não atingiram a eficiência máxima, treze se apresentam com eficiência menor ou igual a 35,7%, destacando negativamente a UTD24 (irrigação na bacia do Acaraú) que se apresentou como a unidade mais ineficiente do conjunto analisado, quase atingindo a ineficiência máxima (igual à zero).

Tabela 4.16 – Posicionamento das UTDs em função da medida de sua eficiência

	UTDs	Eficiência
1	UTD32 – Abastecimento público (Banabuiú)	1,000000
2	UTD1 – Indústria (Metropolitana)	1,000000
3	UTD2 – Abastecimento público (Metropolitana)	1,000000
4	UTD30 – Irrigação (Parnaíba)	1,000000
5	UTD28 – Indústria (Parnaíba)	1,000000
6	UTD27 – Irrigação (Coreaú)	1,000000
7	UTD19 – Indústria (Litoral)	1,000000
8	UTD7 – Indústria (Alto Jaguaribe)	1,000000
9	UTD8 – Abastecimento público (Alto Jaguaribe)	1,000000
10	UTD16 – Indústria (Salgado)	1,000000
11	UTD10 – Indústria (Médio Jaguaribe)	1,000000
12	UTD11 – Abastecimento público (Médio Jaguaribe)	1,000000
13	UTD13 – Indústria (Baixo Jaguaribe)	1,000000
14	UTD23 – Abastecimento público (Acarau)	0,999478
15	UTD5 – Abastecimento público (Curu)	0,999193
16	UTD31 – Indústria (Banabuiú)	0,967076
17	UTD22 – Indústria (Acarau)	0,952260
18	UTD25 – Indústria (Coreaú)	0,940667
19	UTD21 – Irrigação (Litoral)	0,938806
20	UTD4 – Indústria (Curu)	0,916375
21	UTD29 – Abastecimento público (Parnaíba)	0,356822
22	UTD26 – Abastecimento público (Coreaú)	0,346633
23	UTD17 – Abastecimento público (Salgado)	0,285104
24	UTD14 – Abastecimento público (Baixo Jaguaribe)	0,273741
25	UTD20 – Abastecimento público (Litoral)	0,237491
26	UTD3 – Irrigação (Metropolitana)	0,069003
27	UTD12 – Irrigação (Médio Jaguaribe)	0,050791
28	UTD9 – Irrigação (Alto Jaguaribe)	0,020783
29	UTD15 – Irrigação (Baixo Jaguaribe)	0,010312
30	UTD6 – Irrigação (Curu)	0,009084
31	UTD18 – Irrigação (Salgado)	0,006805
32	UTD33 – Irrigação (Banabuiú)	0,001277
33	UTD24 – Irrigação (Acarau)	0,000813

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

O conjunto de UTDs analisadas se apresenta com uma eficiência média igual a 0,647955. Vale ressaltar que das treze UTDs eficientes, tem-se que sete são da indústria, quatro do abastecimento público e duas da irrigação, conforme listadas no Quadro 4.3.

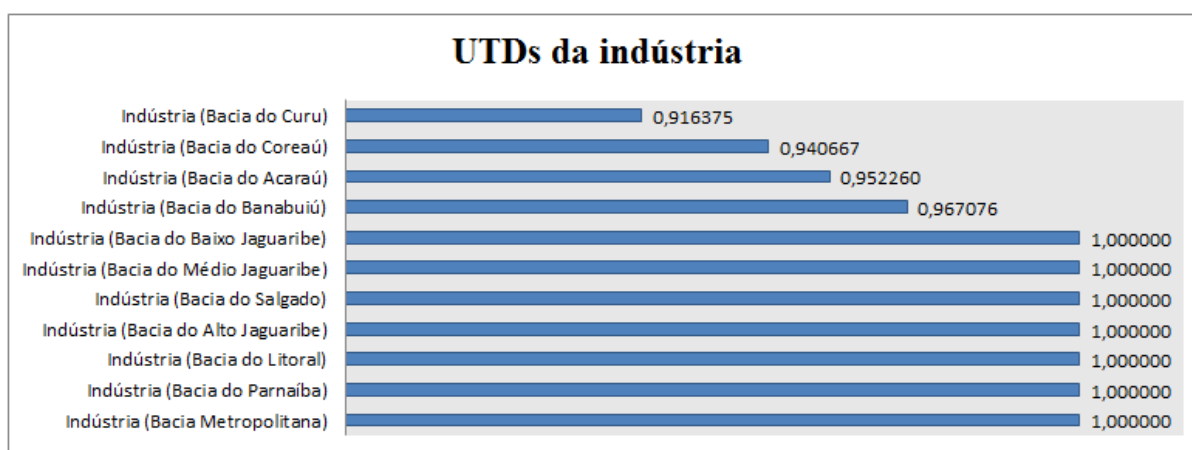
Quadro 4.3 – Descrição das UTDs eficientes por categoria de uso

Indústria	Abastecimento público	Irrigação
<ul style="list-style-type: none"> • UTD1 (Metropolitana); • UTD28 (Parnaíba); • UTD19 (Litoral); • UTD7 (Alto Jaguaribe); • UTD16 (Salgado); • UTD10 (Médio Jaguaribe); • UTD13 (Baixo Jaguaribe). 	<ul style="list-style-type: none"> • UTD32 (Banabuiú); • UTD2 (Metropolitana); • UTD8 (Alto Jaguaribe); • UTD11 (Médio Jaguaribe). 	<ul style="list-style-type: none"> • UTD30 (Parnaíba); • UTD27 (Coreaú).

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Conforme mostrado no Quadro 4.3, o setor industrial do Estado se apresenta com sete UTDs eficientes, de um total de onze UTDs, isto é, 63,6% das unidades do setor se apresentam com eficiência relativa máxima (igual à unidade). Vale ressaltar, que as demais UTDs da indústria apresentam medidas de eficiência superior a 90%, bem acima da eficiência média do conjunto de UTDs analisado, que é de aproximadamente 64,80%.

Desta forma, pode-se afirmar que este setor é o que mais contribui na medida da eficiência média do conjunto de UTDs analisados. Por meio da Figura 4.3 podem-se ver em ordem crescente as medida da eficiência das UTDs da indústria.

Figura 4.3 – Eficiência das UTDs da indústria

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

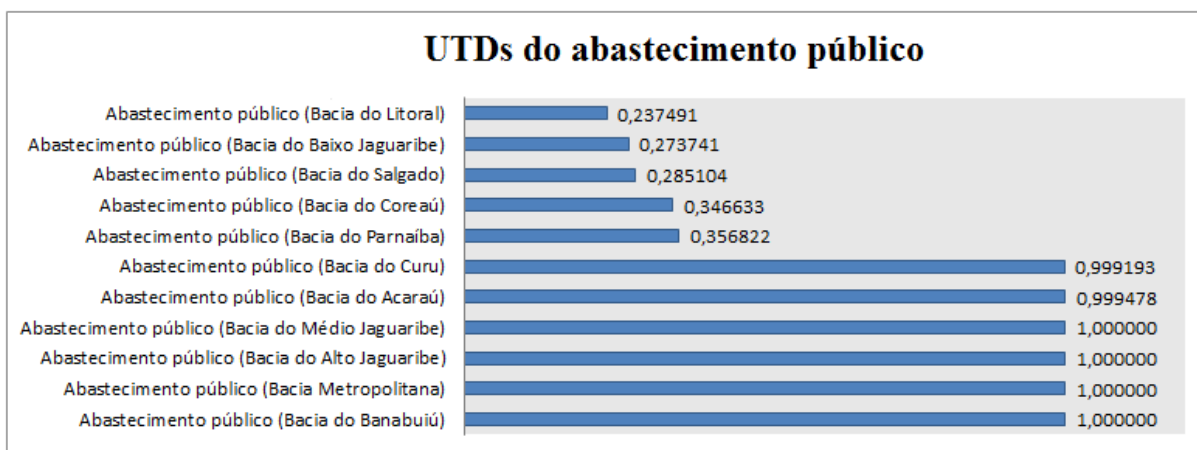
Conforme, mostrado nessa Figura 4.3 a UTD4, bacia do Curu, é a unidade desse setor com a menor eficiência medida, igual a 0,916375. A eficiência média do setor industrial é igual a aproximadamente 97,97%, confirmando a força desse setor no Estado do Ceará em relação à cobrança pelo uso da água.

É importante ressaltar que o setor industrial no Estado é o setor que apresenta as maiores tarifas de cobrança de água, sendo então uma categoria muito representativa em relação ao faturamento e à arrecadação com a cobrança pelo uso da água bruta, nas bacias hidrográficas cearenses. Conforme a Figura A2 (Apêndice A), este setor apresenta um faturamento total que representa cerca de 46,50% de todo faturamento do Estado.

Em seguida, se destaca o setor do abastecimento público, que apresenta quatro UTDs (aproximadamente 36,4% das unidades desse setor) com medidas de eficiência máxima, igual à unidade (ver Quadro 4.3).

Na Figura 4.4 podem-se ver as UTDs do setor do abastecimento público, das bacias do Estado, em ordem crescente de medida da eficiência relativa.

Figura 4.4 – Eficiência das UTDs do abastecimento público



Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Conforme mostrado na Figura 4.4, a UTD23, bacia do Acaraú, e a UTD5, bacia do Curu, se destacam pelo fato de se apresentarem com medidas de eficiência muito próximas da unidade, iguais a 0,999478 e 0,999193, respectivamente. Desta forma, pode-se dizer que essas UTDs são quase eficientes.

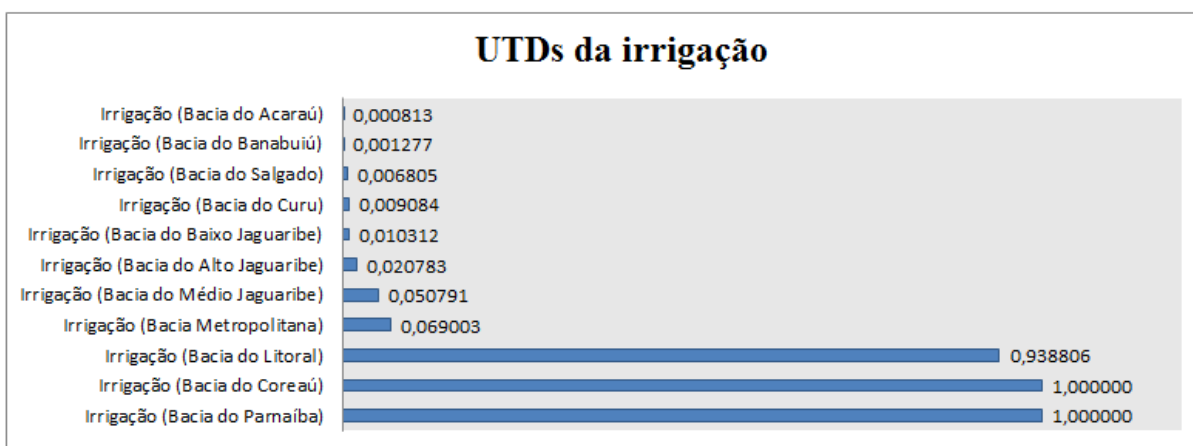
Cinco UTDs desse setor se apresentam com eficiências muito baixas, menores do que 40%. A UTD20, bacia do Litoral, é a UTD desse setor com a menor eficiência relativa, com uma medida igual a 0,237491.

Vale ressaltar que o setor do abastecimento público, em todo o Estado do Ceará, apresenta uma eficiência média de aproximadamente 68,17%, um pouco superior à eficiência média de todo o conjunto de UTDs analisado nesta pesquisa, que é de aproximadamente 64,80%.

Pode-se afirmar que este setor também tem uma importância muito relevante no Estado, tanto no consumo de água como no faturamento e na arrecadação com a cobrança pelo uso de água bruta. Conforme ilustrado na Figura A1 (Apêndice A), o consumo anual desse setor representou aproximadamente 59,46% de todo o consumo no Estado do Ceará, enquanto o faturamento representa cerca de 50,40% de todo o faturamento do Estado do Ceará (ver Figura A2, Apêndice A).

Por fim, o setor da irrigação se apresenta com o setor mais ineficiente em relação ao instrumento de cobrança pelo uso da água bruta. Conforme ilustrado no Quadro 4.3, apenas duas UTDs desse setor (aproximadamente 18,2% das UTDs da irrigação), a UTD30, bacia do Parnaíba, e a UTD27, bacia do Coreaú, se apresentam com eficiência relativa igual à unidade (eficiência máxima). Destaca-se ainda a UTD21, bacia do Litoral, que apresenta uma medida de eficiência relativa igual a 0,938806. Na Figura 4.5 se apresentam em ordem crescente de eficiência as UTDs do setor da irrigação nas bacias do Estado.

Figura 4.5 – Eficiência das UTDs da irrigação



Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Pode-se observar por intermédio da Figura 4.5, que no setor da irrigação apresenta oito unidades com eficiência relativa inferior a 10%. Desta forma, este setor é o que menos contribui na medida da eficiência média do conjunto de UTDs analisados.

Das UTDs da irrigação, se destaca negativamente a UTD24, bacia do Acaraú, que é a UTD mais ineficiente de todo o Estado (ver Tabela 4.16), com uma medida de eficiência igual a 0,000813. Ou seja, a UTD24 tem uma eficiência muito menor do que 1%.

O conjunto de UTDs do setor da irrigação apresenta uma eficiência relativa média igual a aproximadamente 28,3%, que é bem inferior a medida de eficiência do conjunto todo de UTDs do Estado analisado, que é de 64,80%.

Em relação ao instrumento de cobrança pelo uso da água bruta nas bacias cearense, o setor da irrigação se destaca pelo fato de ser um setor que apresenta um consumo muito elevado de água (aproximadamente 32,61% de todo o Estado). Porém, este setor apresenta um faturamento, e conseqüentemente arrecadação, insignificante em relação aos todos os usos (aproximadamente 1,83% de todo o Estado), uma vez que as tarifas de consumo serem as menores aplicadas em todo o Estado.

Em resumo, são apresentadas na Tabela 4.17 as medidas das eficiências médias para cada uma das categorias consideradas nesta pesquisa.

Tabela 4.17 – Eficiência média por categoria de uso

Categoria de uso	Eficiência
Indústria	0,979671
Abastecimento público	0,681678
Irrigação	0,282516

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Conforme ilustrado na Tabela 4.17, o setor que se destaca no período consultado na pesquisa é o setor da indústria, com uma eficiência média de 0,979671. Negativamente, o setor que se destaca é a irrigação, com uma medida de eficiência média de 0,282516. Enquanto o setor do abastecimento público se apresenta com uma eficiência média igual a 0,681678.

4.4.2 Conjunto de referência das UTDs ineficientes

Segundo Ferreira; Gomes (2009, p. 98), “identificada a fronteira eficiente, podem-se, utilizando movimentos radiais, projetar as UTDs ineficientes para a fronteira de possibilidades”.

Na análise realizada pelo DEA-Solver, orientado a produto, são identificadas as UTDs eficientes que são responsáveis por cada UTD ineficiente, isto é, quais são as *benchmarks* de cada UTD ineficiente. Em outras palavras, as UTDs ineficientes podem ser escritas como uma combinação linear das UTDs eficientes que servem de parâmetro para atingir a eficiência máxima.

Em termos de simplificação pode-se dividir as UTDs que não atingiram a eficiência máxima em três categorias, conforme o valor da medida de sua eficiência relativa:

- A. Quase eficientes: medidas de eficiência relativa maior do que 90%;
- B. Pouco eficientes: medidas de eficiência relativa menor do que 40% e maior do que 10%;
- C. Muito ineficientes: medidas de eficiência relativa menor do que 10%.

Em seguida, tem-se no Quadro 4.4, uma divisão proposta para as UTDs de acordo com as suas medidas de eficiência relativa.

Quadro 4.4 – Divisão das UTDs ineficientes por categoria de acordo com as suas medidas de eficiência relativa

Quase eficientes		Pouco eficientes		Muito ineficientes	
UTD	Medidas	UTD	Medidas	UTD	Medidas
UTD23	0,999478	UTD29	0,356822	UTD3	0,069003
UTD5	0,999193	UTD26	0,346633	UTD12	0,050791
UTD31	0,967076	UTD17	0,285104	UTD9	0,020783
UTD22	0,952260	UTD14	0,273741	UTD15	0,010312
UTD25	0,950667	UTD20	0,237491	UTD6	0,009084
UTD21	0,938806			UTD18	0,006805
UTD4	0,916375			UTD33	0,001277
				UTD24	0,000813

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Conforme pode ser confirmado na Tabela 4.16, as UTDs classificadas como pouco eficientes são todas do setor do abastecimento público, enquanto as UTDs classificadas como muito ineficientes são todas do setor da irrigação.

Cada uma das UTDs consideradas eficientes, listadas no Quadro 4.3, pode fazer parte do grupo de referência das UTDs listadas no Quadro 4.4, que foram avaliadas como ineficientes. É importante ressaltar que quanto maior for a frequência que uma UTD aparece no grupo de referência de uma UTD ineficiente, mais alta é a oportunidade do seu desempenho ser de excelência, sendo um modelo de comparação. Porém se uma UTD, mesmo eficiente, apresenta baixa frequência, então, ela não serve como modelo a ser comparado.

Na Tabela 4.18, são apresentados os conjuntos de referência, com os pesos de cada UTD desse conjunto, para cada UTD considerada como “quase eficiente”.

Tabela 4.18 – UTDs quase eficientes e seus modelos de referência

UTDs quase eficientes	UTDs de referência	Peso
14 ^a UTD23 – Abastecimento (Acaráú)	UTD23 – Abastecimento (Acaráú)	1,0000
15 ^a UTD5 – Abastecimento (Curu)	UTD5 – Abastecimento (Curu)	1,0000
16 ^a UTD31 – Indústria (Banabuiú)	UTD7 – Indústria (Alto Jaguaribe)	0,9858
	UTD19 – Indústria (Litoral)	0,0142
17 ^a UTD22 – Indústria (Acaráú)	UTD7 – Indústria (Alto Jaguaribe)	0,2542
	UTD10 – Indústria (Médio Jaguaribe)	0,1754
	UTD19 – Indústria (Litoral)	0,0218
	UTD28 – Indústria (Parnaíba)	0,5486
18 ^a UTD25 – Indústria (Coreaú)	UTD7 – Indústria (Alto Jaguaribe)	0,4026
	UTD19 – Indústria (Litoral)	0,0263
	UTD28 – Indústria (Parnaíba)	0,5711
19 ^a UTD21 – Irrigação (Litoral)	UTD21 – Irrigação (Litoral)	1,0000
20 ^a UTD4 – Indústria (Curu)	UTD7 – Indústria (Alto Jaguaribe)	0,9620
	UTD19 – Indústria (Litoral)	0,0380

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

As unidades UTD23, UTD5, ambas do abastecimento, e a UTD21, da irrigação, têm como referência elas próprias. As demais UTDs são do setor industrial e apresentam como referências UTDs também do setor industrial. Destaca-se a UTD22, da bacia do Acaraú, que para se tornar eficiente deve usar como modelos as seguintes unidades: UTD7 (25,42%); DM10 (17,54%); UTD19 (2,18%); e UTD28 (54,86%).

Observa-se que a UTD7, que apresenta o setor da indústria da bacia do Alto Jaguaribe, aparece como referência para as UTD31, UTD22, UTD25 e UTD4, todas também da indústria.

Na Tabela 4.19, são apresentados os conjuntos de referência, com os pesos de cada UTD desse conjunto, para cada UTD considerada com “pouco eficiente”.

Tabela 4.19 – UTDs pouco eficientes e seus modelos de referência

UTDs pouco eficientes	UTDs de referência	Peso
21 ^a UTD29 – Abastecimento (Parnaíba)	UTD2 – Abastecimento (Metropolitana)	0,1897
	UTD7 – Indústria (Alto Jaguaribe)	0,2944
	UTD8 – Abastecimento (Alto Jaguaribe)	0,2729
	UTD10 – Indústria (Médio Jaguaribe)	0,0513
	UTD28 – Indústria (Parnaíba)	0,1917
22 ^a UTD26 – Abastecimento (Coreaú)	UTD1 – Indústria (Metropolitana)	0,1452
	UTD2 – Abastecimento (Metropolitana)	0,0198
	UTD8 – Abastecimento (Alto Jaguaribe)	0,7765
	UTD28 – Indústria (Parnaíba)	0,0585
23 ^a UTD17 – Abastecimento (Salgado)	UTD1 – Indústria (Metropolitana)	0,1176
	UTD2 – Abastecimento (Metropolitana)	0,2059
	UTD8 – Abastecimento (Alto Jaguaribe)	0,1309
	UTD16 – Indústria (Salgado)	0,4146
	UTD28 – Indústria (Parnaíba)	0,1310
24 ^a UTD14 – Abastecimento (Baixo Jaguaribe)	UTD1 – Indústria (Metropolitana)	0,2091
	UTD2 – Abastecimento (Metropolitana)	0,0324
	UTD8 – Abastecimento (Alto Jaguaribe)	0,6837
	UTD27 – Irrigação (Coreaú)	0,0748
25 ^a UTD20 – Abastecimento (Litoral)	UTD1 – Indústria (Metropolitana)	0,2345
	UTD2 – Abastecimento (Metropolitana)	0,1267
	UTD8 – Abastecimento (Alto Jaguaribe)	0,2757
	UTD28 – Indústria (Parnaíba)	0,3631

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

De acordo com a Tabela 4.19, a UTD que apresenta um maior número de referências é a UTD17, que apresenta ao todo cinco UTDs que podem ser usadas como modelo para a mesma se tornar eficiente. Os modelos para a UTD17 são: UTD1 (11,76%); UTD2 (20,59%); UTD8 (13,09%); UTD16 (41,46%); e UTD28 (13,10%).

A UTD2, abastecimento da bacia Metropolitana, e a UTD8, abastecimento da bacia do Alto Jaguaribe, se destacam pelo fato de serem apresentadas como modelo para todas as UTDs, apresentadas na Tabela 4.19. Merece destaque também a UTD1, indústria da bacia Metropolitana, que aparece como modelo para quatro das UTDs pouco eficientes.

Na Tabela 4.20, são apresentados os conjuntos de referência, com os pesos de cada UTD desse conjunto, para cada UTD considerada como “muito ineficiente”.

Tabela 4.20 – UTDs muito ineficientes e seus modelos de referência

UTDs muito ineficientes	UTDs de referência	Peso
26 ^a UTD3 – Irrigação (Metropolitana)	UTD2 – Abastecimento (Metropolitana)	0,0500
	UTD7 – Indústria (Alto Jaguaribe)	0,0825
	UTD10 – Indústria (Médio Jaguaribe)	0,6114
	UTD19 – Indústria (Litoral)	0,1236
	UTD28 – Indústria (Parnaíba)	0,1325
27 ^a UTD12 – Irrigação (Médio Jaguaribe)	UTD2 – Abastecimento (Metropolitana)	0,3012
	UTD10 – Indústria (Médio Jaguaribe)	0,3183
	UTD19 – Indústria (Litoral)	0,3383
	UTD28 – Indústria (Parnaíba)	0,0422
28 ^a UTD9 – Irrigação (Alto Jaguaribe)	UTD2 – Abastecimento (Metropolitana)	0,0146
	UTD7 – Indústria (Alto Jaguaribe)	0,6862
	UTD16 – Indústria (Salgado)	0,0276
	UTD19 – Indústria (Litoral)	0,0882
	UTD28 – Indústria (Parnaíba)	0,1834
29 ^a UTD15 – Irrigação (Baixo Jaguaribe)	UTD1 – Indústria (Metropolitana)	0,7584
	UTD2 – Abastecimento (Metropolitana)	0,2416
30 ^a UTD6 – Irrigação (Curu)	UTD1 – Indústria (Metropolitana)	0,4366
	UTD2 – Abastecimento (Metropolitana)	0,1226
	UTD16 – Indústria (Salgado)	0,1175
	UTD19 – Indústria (Litoral)	0,0504
	UTD28 – Indústria (Parnaíba)	0,2729
31 ^a UTD18 – Irrigação (Salgado)	UTD1 – Indústria (Metropolitana)	0,5592
	UTD2 – Abastecimento (Metropolitana)	0,0959
	UTD28 – Indústria (Parnaíba)	0,3449
32 ^a UTD33 – Irrigação (Banabuiú)	UTD1 – Indústria (Metropolitana)	0,9819
	UTD2 – Abastecimento (Metropolitana)	0,0007
	UTD28 – Indústria (Parnaíba)	0,0174
33 ^a UTD24 – Irrigação (Acará)	UTD1 – Indústria (Metropolitana)	0,2333
	UTD19 – Indústria (Litoral)	0,7667

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Conforme ilustrado na Tabela 4.20, a UTD3, do setor da irrigação da bacia Metropolitana, para se tornar eficiente deve usar como modelo as seguintes UTDs: UTD2 (5,00%); UTD7 (8,25%); UTD10 (61,14%); UTD19 (12,36%); e UTD28 (13,25%).

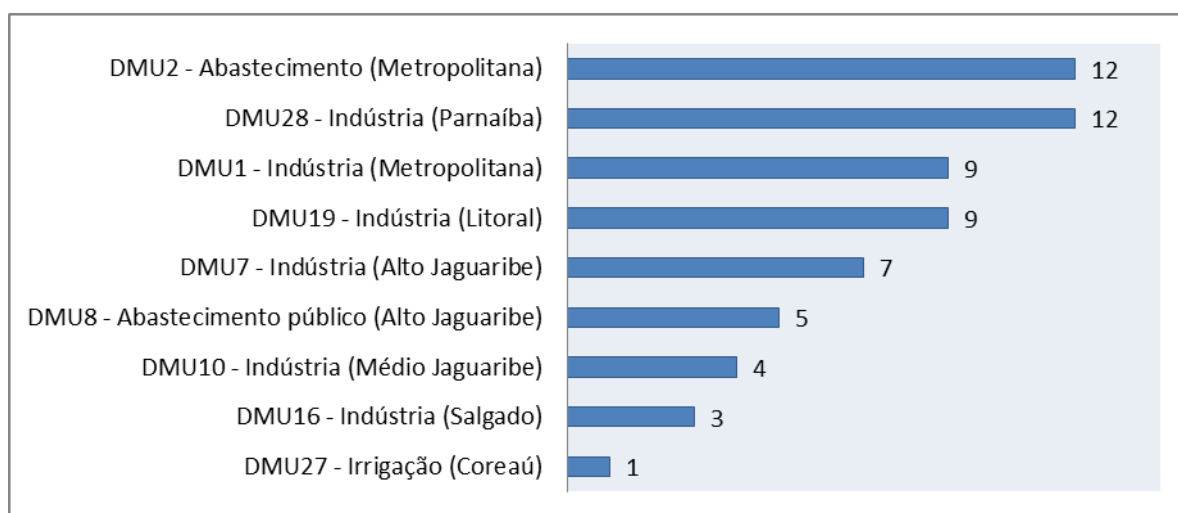
A UTD24 se apresenta como a unidade analisada que apresenta a maior ineficiência, quase zero (ineficiência máxima). Para se tornar eficiente a mesma deve usar como modelo de comparação as seguintes UTDs: UTD1 (23,33%) e DM19 (76,67%).

Neste conjunto de UTDs muito ineficientes, a unidade que mais se destaca como referência é a UTD2, abastecimento da bacia Metropolitana, que aparece como modelo de referência para sete dessas UTDs. O setor da indústria da bacia do Parnaíba, UTD28, também se destaca, uma vez que se apresenta como modelo de eficiência a ser objetivado por seis UTDs desse conjunto.

Vale ressaltar que a UTD que faz parte da maioria dos conjuntos de referências, apresentando maior frequência pode ser chamada de líder global, uma vez que atrai para si as atenções de outras UTDs tidas como não eficientes.

Em resumo, na Figura 4.6 ilustra-se o número de vezes, ou frequência, que uma UTD considerada eficiente (ver Quadro 4.3) fez parte do grupo de referência das UTDs analisadas como ineficientes.

Figura 4.6 – Frequência do conjunto de referência



Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Conforme mostrado por meio da Figura 4.6, as UTDs do abastecimento da bacia Metropolitana, UTD2, e da indústria da bacia do Parnaíba, UTD28, são as unidades que aparecem com maior frequência nos conjuntos de referências das UTDs ineficientes, ao todo

doze vezes. Essas duas UTDs apresentaram então maior destaque que as demais, sendo, portanto chamadas de líderes globais, obtendo a atenção de boa parte das UTDs não eficientes. Dessa forma, considera-se como de excelência o desempenho obtido por essas duas UTDs.

Ainda conforme a Figura 4.6, o setor industrial da bacia Metropolitana, UTD1, e o setor industrial da bacia do Litoral, UTD19, também se destacaram como modelo de referência. Cada uma apareceu como referência para nove UTDs classificadas como não eficientes.

Por outro lado as UTDs da indústria, UTD13 (Baixo Jaguaribe), do abastecimento, UTD11 (Médio Jaguaribe) e UTD32 (Banabuiú), e da irrigação, UTD30 (Parnaíba) não apareceram em nenhum conjunto de referência das UTDs ineficientes. Logo, pode-se afirmar que elas não podem ser utilizadas como comparação para nenhuma UTD ineficiente.

Assim, esta análise de *benchmarking* feita nesta seção possibilitou a identificação das unidades eficientes que são usadas por cada UTD não eficiente como modelo de projeção para se atingir a eficiência máxima desejada.

4.4.3 Projeção a ser alcançada pelas UTDs ineficientes

Além de indicar para cada UTD ineficiente as UTDs eficientes que podem ser usadas como referências, o EAD mostra o que deveria ser alcançado em cada fator (insumo e produto) para que uma UTD ineficiente atinja a eficiência máxima.

Em termos de simplificação, também será considerada a classificação das UTDs não eficientes definidas no Quadro 4.4.

No Quadro 4.5 são apresentadas as projeções (alvos) a serem alcançadas por cada fator de insumo e de produto de forma que uma UTD classificada como “quase eficiente” atinja a eficiência máxima (igual à unidade). Essas melhorias sugerida nos fatores de uma determinada UTD, objetivam que a mesma otimize a sua relação insumo/produto, e se apresentam em destaque na cor vermelha. Vale salientar que quanto menor a medida de eficiência de uma determinada UTD, maiores são as mudanças sugeridas nos seus fatores.

Quadro 4.5 – Projeção a ser alcançada pelos fatores de cada UTD quase eficiente para torná-las eficientes

UTD23 – Abastecimento público (Acarau) – 0,999478						
	PUO	VMC	PCA	TBH	TFVC	FM
Atual	0,686	1.114.859,62	0,091	0,890	0,03277	36.533,95
Projeção	0,686	1.114.859,62	0,091	0,890	0,03285	36.553,04
UTD5 – Abastecimento público (Curu) – 0,999193						
	PUO	VMC	PCA	TBH	TFVC	FM
Atual	0,071	645.608,28	0,385	0,026	0,03277	21.156,58
Projeção	0,071	645.608,28	0,385	0,025	0,03750	21.173,67
UTD31 – Indústria (Banabuiú) – 0,967076						
	PUO	VMC	PCA	TBH	TFVC	FM
Atual	1,000	2.300,47	1,000	0,011	0,43156	992,79
Projeção	0,528	2.300,47	1,000	0,007	0,44625	2.001,23
UTD22 – Indústria (Acarau) – 0,952260						
	PUO	VMC	PCA	TBH	TFVC	FM
Atual	0,830	12.854,47	0,778	0,005	0,43243	5.558,70
Projeção	0,830	9.939,96	0,451	0,005	0,45411	5.837,37
UTD25 – Indústria (Coreau) – 0,940667						
	PUO	VMC	PCA	TBH	TFVC	FM
Atual	1,000	6.282,46	1,000	0,006	0,43156	2.711,26
Projeção	0,756	6.282,46	0,429	0,006	0,45878	4.579,59
UTD21 – Irrigação (Litoral) – 0,938806						
	PUO	VMC	PCA	TBH	TFVC	FM
Atual	0,333	171.215,48	0,500	0,103	0,00080	136,76
Projeção	0,333	171.215,48	0,500	0,103	0,00116	145,67
UTD4 – Indústria (Curu) – 0,916375						
	PUO	VMC	PCA	TBH	TFVC	FM
Atual	0,825	3.904,14	1,000	0,019	0,43156	1.684,88
Projeção	0,531	3.904,14	1,000	0,009	0,47094	4.387,97

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Conforme o Quadro 4.5 a UTD23 se encontra muito próxima da fronteira de eficiência, necessitando então de um pequeno ajuste de modo a atingir a eficiência máxima. Neste caso, o EAD sugere que os fatores de saída, TFVC e FM, tenham incrementos em seus valores atuais de +0,24% e +0,05%, respectivamente, de modo que esta UTD obtenha uma medida igual à unidade para a sua eficiência relativa.

A UTD4 é a menos eficiente deste grupo, apresentado no Quadro 4.5. Para esta UTD o EAD sugere que os insumos PUO e TBH sofram reduções de -35,6% e -52,6%,

respectivamente, enquanto os produtos TFVC e FM sofram incrementos de +9,1% e +160,4%, respectivamente, de modo que esta UTD atinja a eficiência máxima.

Após uma análise dos dados do Quadro 4.5, observa-se que todas as UTDs deste grupo devem sofrer algum grau de variação positiva nos valores de seus produtos, TFVC e FM. Por outro lado o insumo PUO é o que deve sofrer a maior variação negativa em seus valores, como na UTD25 que deve reduzir este fator em 47,2%.

Assim, pode-se concluir que a ineficiência deste grupo de UTDs deve-se, principalmente: a altos percentuais de usuários faturados sem outorgas (insumo IOU); baixos preços pelo metro cúbico da água (produto TFVC); e baixos faturamentos com a cobrança (produto FM).

No Quadro 4.6 são apresentadas as projeções (alvos) a serem alcançadas por cada fator de insumo e de produto para que cada UTD classificada como “pouco eficiente” atinja a eficiência máxima (igual à unidade). Essas melhorias estão destacadas na cor vermelha.

Quadro 4.6 – Projeção a ser alcançada pelos fatores de cada UTD pouco eficiente para torná-las eficientes

UTD29 – Abastecimento público (Parnaíba) – 0,356822						
	PUO	VMC	PCA	TBH	TFVC	FM
Atual	0,455	1.471.850,60	0,500	0,075	0,03277	48.232,55
Projeção	0,455	1.471.850,60	0,500	0,075	0,25986	135.172,62
UTD26 – Abastecimento público (Coreaú) – 0,346633						
	PUO	VMC	PCA	TBH	TFVC	FM
Atual	0,167	713.990,17	0,400	0,155	0,03277	23.397,45
Projeção	0,167	713.990,17	0,400	0,076	0,25723	67.499,22
UTD17 – Abastecimento público (Salgado) – 0,285104						
	PUO	VMC	PCA	TBH	TFVC	FM
Atual	0,344	1.501.485,74	0,524	0,132	0,03277	49.203,69
Projeção	0,344	1.501.485,74	0,524	0,132	0,42599	172.581,62
UTD14 – Abastecimento público (Baixo Jaguaribe) – 0,273741						
	PUO	VMC	PCA	TBH	TFVC	FM
Atual	0,143	746.668,57	0,500	0,148	0,03277	24.468,33
Projeção	0,143	746.668,57	0,500	0,106	0,32020	89.385,01
UTD20 – Abastecimento público (Litoral) – 0,237491						
	PUO	VMC	PCA	TBH	TFVC	FM
Atual	0,500	1.090.862,65	0,333	0,174	0,03277	35.747,56
Projeção	0,500	1.090.862,65	0,333	0,142	0,50882	150.521,71

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Vale ressaltar que todas as UTDs deste grupo, apresentado no Quadro 4.6, pertencem ao abastecimento público, sendo uma categoria de uso de grande relevância em todo o Estado, devido tanto ao faturamento (e consequentemente a arrecadação) como ao consumo dos recursos hídricos. Este setor é representado pela CAGECE e as prefeituras municipais, através dos SAEs.

Como visto anteriormente, as maiores variações positivas sugeridas para este grupo de UTDs ocorrem nos produtos, TFVC e FM. Por exemplo, a UTD29, se apresenta como a menos ineficiente deste grupo, com uma medida de eficiência igual a 35,68%. As melhorias sugeridas para esta UTD alcance a eficiência máxima ocorrem somente nas saídas, TFVC e FM, com os incrementos em seus valores de aproximadamente +693,0% e +180,3%, respectivamente.

A unidade mais ineficiente deste grupo, e consequentemente a mais ineficiente do setor do abastecimento do Estado é a UTD20, na bacia do Litoral, com uma medida de eficiência relativa igual a aproximadamente 23,75%. Para esta UTD atingir a eficiência máxima, o insumo, TBH, deve sofrer uma redução percentual de -18,4% em seu valor, enquanto os produtos, TFVC e FM, devem receber incrementos de +1.452,7% e +321,1% em seus valores, respectivamente.

As modificações sugeridas para este grupo de UTDs sugerem que as ineficiências das mesmas são decorrentes principalmente dos seguintes fatores: baixos preços em R\$ pelo metro cúbico de água consumida, indicado pelo produto TFVC, e baixos valores faturados com a cobrança pelo uso da água bruta, indicado pelo produto FM.

Dos dados apresentados no Quadro 4.6, é importante ressaltar que apesar da contribuição do setor para o balanço hídrico, indicado por TBH, ser relativamente confortável nessas UTDs, ou seja, $TBH < 0,20$, a avaliação EAD sugere que em algumas UTDs este *insumo* deva ser ainda menor.

Em seguida no Quadro 4.7 são apresentadas as projeções, ou melhorias, a serem alcançadas por cada fator de insumo e de produto de modo que cada UTD classificada como “muito ineficiente” atinja a eficiência máxima (igual à unidade). Vale salientar que todas as UTDs deste grupo pertencem à irrigação, setor do Estado considerado como crítico, pelo fato de consumir volumes elevados de água bruta, com um faturamento (consequentemente, arrecadação) muito baixo, devido à política imposta pelos subsídios cruzados.

Quadro 4.7 – Projeção a ser alcançada pelos fatores de cada UTD muito ineficiente para torná-las eficientes

UTD3 – Irrigação (Metropolitana) – 0,069003						
	PUO	VMC	PCA	TBH	TFVC	FM
Atual	0,875	360.477,99	0,833	0,036	0,01015	3.658,42
Projeção	0,875	360.477,99	0,833	0,036	0,54304	53.018,23
UTD12 – Irrigação (Médio Jaguaribe) – 0,050791						
	PUO	VMC	PCA	TBH	TFVC	FM
Atual	0,945	2.053.548,05	0,750	0,154	0,00594	12.189,81
Projeção	0,676	2.053.548,05	0,750	0,154	0,68223	240.001,00
UTD9 – Irrigação (Alto Jaguaribe) – 0,020783						
	PUO	VMC	PCA	TBH	TFVC	FM
Atual	0,600	106.200,75	0,800	0,021	0,00386	409,93
Projeção	0,600	106.200,75	0,800	0,021	0,51813	19.724,70
UTD15 – Irrigação (Baixo Jaguaribe) – 0,010312						
	PUO	VMC	PCA	TBH	TFVC	FM
Atual	0,583	1.754.602,76	1,000	1,000	0,00205	3.604,40
Projeção	0,583	1.754.602,76	0,713	0,381	1,09258	349.529,79
UTD6 – Irrigação (Curu) – 0,009084						
	PUO	VMC	PCA	TBH	TFVC	FM
Atual	0,560	906.196,37	0,545	0,223	0,00197	1.785,35
Projeção	0,560	906.196,37	0,545	0,223	0,86972	196.544,95
UTD18 – Irrigação (Salgado) – 0,006805						
	PUO	VMC	PCA	TBH	TFVC	FM
Atual	0,667	744.352,67	0,500	0,393	0,00186	1.384,85
Projeção	0,616	744.352,67	0,500	0,252	0,94614	203.506,15
UTD33 – Irrigação (Banabuiú) – 0,001277						
	PUO	VMC	PCA	TBH	TFVC	FM
Atual	0,736	177.093,69	0,826	0,404	0,00175	310,30
Projeção	0,487	177.093,69	0,826	0,380	1,39074	242.903,59
UTD24 – Irrigação (Acarauá) – 0,000813						
	PUO	VMC	PCA	TBH	TFVC	FM
Atual	0,800	93.497,61	1,000	0,501	0,00117	109,55
Projeção	0,623	93.497,61	0,963	0,190	1,45383	134.807,50

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Conforme ilustrado no Quadro 4.7, a irrigação da bacia Metropolitana apresenta uma medida de eficiência relativa igual a aproximadamente 6,9%. Para esta UTD atingir a eficiência máxima, a entrada, TBH, deve sofrer uma redução percentual de -18,4% em seu

valor, enquanto as saídas, TFVC e FM, devem receber incrementos de +5.250,1% e +1.349,2% em seus valores, respectivamente.

A UTD mais ineficiente do conjunto analisado foi a UTD24, que representa a irrigação na bacia do Acaraú, com uma medida de eficiência relativa de aproximadamente 0,08%. Esta UTD para se tornar eficiente, as entradas, PUO, PCA e TBH, devem sofrer reduções percentuais em seus valores de -22,1%, -3,7% e -62,1%, respectivamente, enquanto as saídas, TFVC e FM, devem sofrer incrementos em seus valores de +124.159,0% e +122.955,7%, respectivamente.

Conforme análise dos dados apresentados no Quadro 4.7, pode-se afirmar que os principais fatores de ineficiência das UTDs desse grupo são: alto percentuais de usuários faturados sem outorga, indicado por PUO; alto percentuais de usuários que apresentam consumo fora da faixa considera aceitável, indicado por PCA; baixos preços do metro cúbico de água consumida, indicado por TFVC; e baixas arrecadações, indicada por FM.

Em geral, conforme os dados apresentados nos Quadro 4.5, 4.6 e 4.7, quanto menor o grau de eficiência de uma UTD, maiores são as alterações que devem ser feita de modo que esta UTD atinja a fronteira de eficiência.

Vale salientar que estes ajustes sugeridos nos fatores (entradas e saídas) pelo modelo EAD-BCC, com orientação a produto, são apenas sugestões que podem ou não ser aplicados na prática. Essas alterações têm como objetivo melhorar a relação produto/insumo dos setores da indústria, abastecimento público e da irrigação, de cada bacia cearense, de acordo com as medidas de eficiência consideradas na metodologia proposta.

As alterações propostas para as UTDs ineficientes do conjunto analisado consistem em:

- Reduzir os valores dos insumos representativos;
- Elevar os valores dos produtos representativos.

Ao final da análise dos dados dessa seção, pode-se afirmar que os fatores mais significativas foram o Percentual de Usuários Outorgados (PUO), o Taxa de Faturamento por Volume Consumido (TFVC) e a Taxa Média de Faturamento (FM). É importante ressaltar que um aumento do preço da água consumida de uma categoria de uso acarreta em um aumento do faturamento dessa categoria, mesmo que o consumo seja mantido constante.

4.4.4 Análise de correlação entre os fatores

“Há várias situações em que o objetivo de estudar o comportamento conjunto de duas variáveis é verificar se elas estão relacionadas, e não usar uma para prever o valor da outra (DEVORE, 2006, p. 468)”.

Para finalizar este trabalho será realizada uma análise de correlação nos dados obtidos para os fatores propostos no modelo final. Esta análise de correlação tem o objetivo de verificar as relações existentes entre os insumos e os produtos. Segundo Cia (2013, p. 18), a correlação entre duas variáveis é uma medida do grau de associação linear entre essas variáveis.

Sabe-se que o grau de correlação entre duas variáveis (fatores) é dado pela razão entre a covariância e o produto dos seus desvios-padrão. A análise de correlação entre os fatores do modelo pode fornecer informações muito úteis acerca da análise realizada. Vale lembrar que o comportamento de uma variável pode influenciar o comportamento de outra no mesmo sentido ou em sentido oposto (correlação positiva e negativa, respectivamente).

As principais medidas estatísticas de cada um dos fatores do modelo são apresentadas na Tabela 4.21.

Tabela 4.21 – Principais medidas estatísticas das variáveis (fatores) do modelo

	Média	Desvio-padrão	Máximo	Mínimo
PUO	0,55788	0,29909	1	0
VMC	720.267,78	1.203.991,49	6.713.583,89	1.346,17
PCA	0,67579	0,28118	1	0
TBH	0,16924	0,24123	1	0
TFVC	0,21881	0,35913	1,46757	0,00049
FM	42.430,07	120.003,76	671.995,39	23,83

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Conforme pode ser observado na Tabela 4.21, os fatores de entrada PUO, PCA e TBH apresentam os seus valores variando de zero, valor mínimo, até a unidade, valor máximo, tendo uma amplitude igual a 1. O fator TFVC (produto) apresenta uma amplitude baixa igual a 1,46708.

O fator VMC apresenta uma variação muito grande de valores, desde um valor mínimo de 1.346,17 a um valor máximo de 6.713.583,89, apresentando uma amplitude igual a

6.712.237,72. Por fim, o fator FM varia de 23,83, valor mínimo, a 671.995,39, valor máximo, apresentando uma amplitude igual a 671.971,56.

No Quadro 4.8 são apresentadas as medidas de correlação entre os fatores, de insumo e produto, do modelo usada para obter a eficiência relativa do conjunto de UTDs analisadas. Conforme pode ser visto neste quadro a maioria das correlações entre os fatores não foram significativas.

Quadro 4.8 – Correlação entre as variáveis (fatores) do modelo

	INSUMOS				PRODUTOS	
	PUO	VMC	PCA	TBH	TFVC	FM
PUO	1,0000	-0,2328	0,3169	0,0587	0,2368	-0,1963
VMC	-0,2328	1,0000	-0,3500	0,3099	-0,2664	0,8272
PCA	0,3169	-0,3500	1,0000	-0,1203	0,3055	-0,2116
TBH	0,0587	0,3099	-0,1203	1,0000	-0,1052	0,1888
TFVC	0,2368	-0,2664	0,3055	-0,1052	1,0000	0,1970
FM	-0,1963	0,8272	-0,2116	0,1888	0,1970	1,0000

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

De acordo com o Quadro 4.8, os fatores que apresentam maior correlação foram o insumo VMC e o produto FM, com uma medida de correlação igual a 0,8272. A relação entre esses dois fatores é positivo, isto é, o aumento de um deles provoca o aumento do outro e vice versa. Este fato já era esperado, uma vez que o faturamento com a cobrança de um usuário é diretamente proporcional ao seu consumo.

Excetuando a correlação entre esses dois fatores, as demais correlações, tanto positivas como negativas, apresentam medidas baixas. A menor correlação que existe é positiva e ocorre entre as entradas PUO e TBH, com uma medida de correlação igual a 0,0587. Isto demonstra que esses dois fatores não possuem nenhuma correlação significativa entre si, apresentando comportamentos independentes.

5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Na cobrança nas bacias cearenses os usuários de recursos hídricos se dividem nas seguintes categorias: indústria, abastecimento público, irrigação, carcinicultura, piscicultura, água mineral e demais usos. Dessas categorias, as principais, tanto em relação ao consumo quanto ao faturamento, são a indústria, o abastecimento e a irrigação.

Assim, foi concebido neste trabalho um conjunto de 33 UTDs formadas pelo instrumento da cobrança pela água bruta nos setores da indústria, do abastecimento e da irrigação de todas as bacias do Estado do Ceará. Foi então feita uma análise do desempenho relativo da cobrança desse conjunto de UTDs por meio da aplicação da ferramenta matemática de análise por envoltória de dados (AED) que se baseia em um modelo clássico de produtividade com insumos e produtos.

Para isso foi sugerido um conjunto de critérios de avaliação, posteriormente classificados em insumos e produtos. Na definição desses critérios foi levado em consideração a facilidade na obtenção e a disponibilidade dos dados relacionados à cobrança e à outorga.

A principal fonte de dados para a composição dos fatores de avaliação foram os relatórios de faturamento com a cobrança pelo uso da água bruta, no período de um ano (de maio de 2012 à abril de 2013), e de outorgas emitidas pela SRH até abril de 2013. Esses relatórios se referem às todas as categorias de usos das bacias hidrográficas cearenses. Também foram considerados os dados referentes a disponibilidades (tanto superficial como subterrânea), e a demandas hídricas (indústria, abastecimento público e irrigação) fornecidas pela SRH.

Aplicou-se o método I-O stepwise exaustivo de modo a selecionar os fatores mais significativos que definiram o modelo final de avaliação do conjunto de UTDs. Dessa forma, este método selecionou quatro insumos e dois produtos, dos quais os mais relevantes foram o insumo TBH, que indica a contribuição do setor no balanço hídrico, e o produto TFVC, que indica o valor em R\$ do metro cúbico de água consumida. Ou seja, o método indicou que o par insumo/produto mais relevante foi formado por essas duas variáveis.

Logo, para medir o desempenho relativo do conjunto de UTDs sugeridos nesta pesquisa optou por usar um modelo AED, que apresenta retornos variáveis de escala (BCC), com orientação a produto.

Em relação à medida da eficiência relativa, tem-se que das 33 UTDs analisadas, 13 unidades foram classificadas como eficientes, atingindo à eficiência máxima (igual à unidade) e 20 foram unidades classificadas como ineficientes (eficiência menor do que à unidade).

É importante ressaltar que o setor da indústria se apresentou como o setor mais eficiente do conjunto analisado em relação ao instrumento da cobrança pela água bruta. Isto é, das 13 UTDs classificadas como eficientes, sete são da indústria. A unidade mais ineficiente deste setor foi a unidade identificada com UTD4, da bacia do Curu, com uma medida de eficiência igual a 91,64%. Considerando apenas as UTDs deste setor, pode-se afirmar que a cobrança do setor industrial se apresentou com uma eficiência média igual a aproximadamente 97,97%.

Em seguida, o setor do abastecimento público também obteve um destaque nessa análise realizada. Das 13 UTDs classificadas como eficientes quatro pertencem a essa categoria de uso. Além disso, as cobranças nas bacias do Curu, UTD5, e do Acaraú, UTD23, obtiveram eficiências relativas superiores a 99%, podendo ser classificadas como quase eficientes.

O setor do abastecimento apresentou cinco UTDs com medidas de eficiência muito baixa, variando entre aproximadamente 23% e 36%. A cobrança na bacia do Litoral, identificada como UTD20, se destaca negativamente por apresentar uma eficiência relativa igual a aproximadamente 23,75%, sendo a unidade do abastecimento como menor medida de eficiência. Por fim, considerando somente as unidades desse setor, a cobrança se apresentou com uma eficiência relativa média de aproximadamente 68,17%.

A categoria de uso mais ineficiente de todo Estado do Ceará em relação a cobrança pela água bruta foi a irrigação, com apenas duas unidades com eficiência relativa igual à unidade, a UTD27 (bacia do Coreaú) e a UTD30 (bacia do Parnaíba). Porém, merece destaque ainda a cobrança na bacia do Litoral, identificada como UTD21, que apresentou uma eficiência relativa igual a aproximadamente 93,88%.

Ao todo oito UTDs da irrigação se apresentaram com baixíssimas eficiências, medidas abaixo de 6,5%, se destacando, negativamente, a UTD24 (bacia do Acaraú), com uma eficiência relativa de aproximadamente 0,08%. Considerando apenas as unidades da irrigação, a cobrança pelo uso da água se apresentou com uma eficiência relativa média de aproximadamente 28,25%.

Na análise feita neste trabalho pode-se observar que uma UTD que se apresenta próxima da fronteira de eficiência (medida de eficiência próxima da unidade) necessita de pequenos ajustes em suas variáveis de modo a atingir essa fronteira. Também foi observado que quanto menor for a medida de eficiência de uma determinada UTD maiores serão ajustes sugeridos para que a unidade se projete sobre a fronteira de eficiência.

Vale salientar que estes ajustes sugeridos nos fatores de insumo e de produto pelo modelo AED-BCC, com orientação a saída, são apenas sugestões que podem ou não ser aplicados na prática. Em regra, as alterações propostas para as UTDs ineficientes do conjunto analisado consistem em:

- Reduzir os valores dos insumos representativos;
- Elevar os valores dos produtos representativos.

De acordo com as projeções sugeridas para as variáveis das UTDs ineficientes pode-se concluir que a ineficiência das UTDs deve-se, em geral, devido as seguintes variáveis do modelo:

- Percentual de Usuários não Outorgados (PUO);
- Taxa de Balanço Hídrico (TBH);
- Taxa de Faturamento por Volume Consumido (TFVC);
- Faturamento Médio (FM).

Assim, recomenda-se o uso da AED como ferramenta de apoio à tomada de decisão no setor dos recursos hídricos por se tratar de uma poderosa e eficiente metodologia científica para o cálculo de indicadores de desempenho em unidades corporativas, tais como as bacias hidrográficas do Estado do Ceará.

Encerrando esta proposta, são feitas as seguintes sugestões de estudos futuros que incorporem:

- I. Adoção de critérios para avaliação da eficiência da cobrança que incorporem os demais instrumentos da PERH;
- II. Avaliação do desempenho do instrumento de outorga pelo direito do uso dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas cearenses;
- III. O volume outorgado no cálculo da cobrança pelo uso da água bruta nas bacias hidrográficas cearenses.

REFERÊNCIAS

- ABAD, E. P. G. **Proposta de fixação de preço da água para irrigação na agricultura, utilizando a metodologia da programação matemática positiva**. 2007. 253 p. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2007.
- ACSELRAD, M. V. **Proposta de aperfeiçoamento da metodologia de cobrança do setor de saneamento básico no Estado do Rio de Janeiro à luz do objetivo de racionalização do uso dos recursos hídricos**. 2013. 161 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – RJ, 2013.
- ADELINA, C. A. **Avaliação da eficiência em DMU's utilizando a tecnologia DEA (Análise Envoltória de Dados). Estudo de caso: Unidades de atendimento do INSS, agências da Previdência Social, da Gerência Executiva Fortaleza**. 2007. Dissertação (Mestrado Profissionalizante) – Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza – CE, 2007.
- AIZEMBERG, L.; et al. **Measuring the NBA teams' cross-efficiency by DEA game**. American Journal of Operations Research. Vol. 3, pp. 101-112, 2014.
- ALI, A. I.; LERME, C. S.; SEIFORD, L. M. **Components of efficiency evaluation in Data Envelopment Analysis**. European Journal of Operational Research, Vol. 80, pp. 462-473, 1995.
- ANA – Agência Nacional de Águas (Brasil). **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil – Informe 2012**. Brasília – DF: ANA, 2012.
- ARAÚJO, J. C. de. **Proposta de modelo tarifário para os vales dos rios Jaguaribe e Banabuiú**. Relatório Técnico. Fortaleza – CE, 2002.
- BATISTA, D. F. **Metodologia para o uso da análise por envoltória de dados no auxílio à decisão**. 2009. 107 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá – MG, 2009.
- BANKER, R. D. **Estimating most productive scale size using data envelopment analysis**. European Journal of Operational Research, Vol. 17, pp. 35-44, 1983.
- BANKER, R. D. **Maximum likelihood, consistency and Data Envelopment Analysis: A statistical foundation**. Management Science, Vol. 39, nº 10, pp. 1265-1273, 1993.
- BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. **Some models for estimating technical and scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis**. Management Science, Vol. 30, nº 9, pp. 1078-1092, 1984.
- BANKER, R. D.; CONRAD, R. F.; STRAUSS, R. P. **A comparative application of Data Envelopment Analysis and Translog methods: An illustrative study of hospital production**. Management Science, Vol. 32, nº 1, pp. 30-44, 1986.

BRAGA, C. F. C.; RIBEIRO, M. M. R. **Avaliação por multicritério e decisores de alternativas de gerenciamento da demanda de água**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH), Vol. 11, nº 1, pp. 37-49, Porto Alegre – RS, 2006.

BRASIL. **Lei de Águas: Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997**. Brasília – DF, 1997.

BRASIL. **Lei nº 10.881, de 09 de junho de 2004**. Brasília – DF, 2004.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Secretaria de Orçamento Federal. Secretaria de Planejamento e Investimentos Estratégicos. **Indicadores – Orientações básicas aplicadas à gestão pública**. Brasília – DF, 2012.

BELLONI, J. A. **Uma metodologia de avaliação da eficiência produtiva de universidades federais brasileiras**. 2000. 245 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 2000.

CAMPOS, C. R. dos P. **Aplicação da metodologia neoclássica da demanda “tudo ou nada” como subsídio à cobrança pelo uso dos recursos hídricos**. 2005. 98 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pará, Belém – PA, 2005.

CASADO, F. L. **Análise envoltória de dados: Conceitos, metodologia e estudo da arte na educação superior**. Revista Sociais e Humanas, Vol. 20, nº 01, pp. 59-71, Santa Maria – RS, 2007.

CASTRO, L. M. A. de.; BAPTISTA, M. B.; CORDEIRO NETTO, O. de M. **Análise multicritério para a avaliação de sistemas de drenagem urbana: Proposição de indicadores e de sistemática de estudo**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH), Vol. 9, nº 4, pp. 05-19, Porto Alegre – RS, 2004.

CAVALCANTE, S. M. de A. **Avaliação dos cursos de graduação da Universidade Federal do Ceará (UFC): Proposição de indicadores de desempenho acadêmico como elementos estratégicos de gestão utilizando Análise Envoltória de Dados – DEA**. 2011. Tese (Doutorado em Educação) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – CE, 2011.

CEARÁ. Assembleia Legislativa. **Caderno regional da sub-bacia do Salgado** – Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos, Assembleia Legislativa do Estado do Ceará; Eudoro Walter de Santana (Coordenador) – Fortaleza: INESP, 2009.

CEARÁ. Assembleia Legislativa. **Cenário Atual dos Recursos Hídricos do Ceará** – Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos, Assembleia Legislativa do Estado do Ceará; Eudoro Walter de Santana (Coordenador) – Fortaleza: INESP, 2008.

CEARÁ. **Decreto nº 30.629, de 19 de agosto de 2011**. Fortaleza – CE, 2011.

CEARÁ. **Decreto nº 31.195, de 16 de abril de 2013**. Fortaleza – CE, 2013.

CEARÁ. **Lei nº 14.844, de 28 de dezembro de 2010**. Fortaleza – CE, 2010.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. **Measuring the efficiency of decision making units**. European Journal of Operational Research, Vol. 2, nº 6, pp. 429-444, 1978.

CIA, J. C.; VARTANIAN, P. R.; MENDES-DA-SILVA, W. **Econometria: Análise de dados com regressão linear em Excel e Gretl**. 1ª edição. São Paulo: Saint Paul Editora, 2013.

CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos (Brasil). **Resolução CNRH nº 48, de 21 de março de 2005**. Brasília – DF, 2005.

CULLINANE, K.; et al. **The technical efficiency of container ports: Comparing Data Envelopment Analysis and Stochastic Frontier Analysis**. Journal Transportation Research Part A, Vol. 40, pp. 354-374, 2006.

CULLINANE, K. P. B.; SONG, D. W.; JI, P.; WANG, T. F. **An application of DEA windows analysis to container port production efficiency**. Review of Networks Economics, Vol. 3, nº 2, pp. 186-208, 2004.

DAMÁSIO, J.; et al. **Impactos da cobrança pelo uso da água: Uma metodologia de avaliação**. Bahia Análise & Dado, Vol. 13, nº Especial, Salvador – BA, 2003.

DEVORE, J. L. **Probabilidade e estatística para engenharia e ciências**. São Paulo – SP: Editora Pioneira Thomson Learning, 2006.

DINAR, A.; SUBRAMANIAN, A. **Water pricing experiences: An international perspective**. World Bank Technical Paper, nº 386, 1997.

DONTHU, N.; YOO, B. **Retail productivity assessment using Data Envelopment Analysis**. Journal of Retailing, Vol. 74, nº 1, pp. 89-105, 1998.

EL-MAHGARY, S. **Data Envelopment Analysis – A basic glossary**. Operation Research Society, Vol. 8, pp. 15-22, 1995.

FERREIRA, C. M. de C.; GOMES, A. P. **Introdução à análise envoltória de dados: teoria, modelos e aplicações**. Viçosa – MG: Editora UFV, 2009. 389 p.

FONTENELE, E.; ARAÚJO, J. C. de. **Tarifa de água como instrumento de planejamento dos recursos hídricos da bacia do Jaguaribe – CE**. Revista Econômica do Nordeste, Vol. 32, nº 2, pp. 234-251, Fortaleza – CE, 2001.

FONTENELE, R. E. S. **Proposta de modelo tarifário para o Vale do Curu**. Relatório Técnico. Fortaleza – CE, 2002.

FONTENELE, R. E. S. **Proposta metodológica para implantação do sistema de cobrança pelo uso dos recursos hídricos no Estado do Ceará**. Revista Econômica do Nordeste, Vol. 30, nº 3, pp. 296-315, Fortaleza – CE, 1999.

FORGIARINI, F. R. **Modelagem da cobrança pelo uso da água bruta para aplicação em escala real na bacia do rio Santa Maria**. 2006. 158 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, 2006.

GARRIDO, R. S.; CARRERA-FERNADEZ, J. **O instrumento de cobrança pelo uso da água em bacias hidrográficas: uma análise dos estudos no Brasil**. Revista Econômica do Nordeste, Vol. 31, nº especial, pp. 604-628, Fortaleza – CE, 2000.

GOMES, E. G.; MELLO, J. C. C. B. S. de; FREITAS, A. C. R. de. **Efficiency measures for a non-homogeneous group of family farmers**. Revista Pesquisa Operacional, Vol. 32, nº 3, pp. 561-574, 2012a.

GOMES, E. G.; et al. **Unitary input DEA model to identify beef cattle production systems typologies**. Revista Pesquisa Operacional, Vol. 32, nº 3, pp. 389-406, 2012b.

GUIMARÃES, F. A. R.; et al. **O método DEA e análise de correlação para avaliação de eficiência de empresas, com aplicação a empresas turísticas**. Revista Turismo Visão e Ação, Vol. 12, nº 3, pp. 258-276, Itajaí – SC, 2010.

HARTMANN, P. **A cobrança pelo uso da água como instrumento econômico na política ambiental: Estudo comparativo e avaliação econômica dos modelos de cobrança pelo uso da água bruta propostos e implementados no Brasil**. Porto Alegre – RS: AEBA, 2010. 532 p.

HAJKOWICZ, S.; COLLINS K. **A review of Multiple Criteria Analysis for Water Resource Planning and Management**. Water Resour Manage, Vol. 21, pp. 1553-1566, 2007.

HOLANDA, M. C.; PETTERINI, F. C.; NOGUEIRA, C. A. G. **O SUS no Ceará: Avaliação de eficiência técnica nos municípios**. Fortaleza, IPECE, 2004.

JARDIM, S. B. **A cobrança eficiente pela garantia de disponibilidade e pelo uso da água: Proposta de um modelo multicritério de gestão**. 2003. 347 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2003.

JI, Y.; LEE, C. **Data envelopment analysis**. The Stata Journal. Vol. 10, nº 2, pp. 267-280, 2010.

JUBRAN, A. J. **Modelo de análise de eficiência na administração pública: Estudo aplicado às prefeituras brasileiras usando a análise envoltória de dados**. 2006. 226 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica). Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, 2006.

KASSAI, S. **Utilização da análise por envoltória de dados (DEA) na análise de demonstrações contábeis**. 2002. 350 f. Tese (Doutorado em Contabilidade e Controladoria) – Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, 2002.

MACEDO, M. A. da S.; SANTOS, R. M.; SILVA, F. de F. da. **Desempenho organizacional no setor bancário brasileiro: Uma aplicação da análise envoltória de dados**. Revista de Administração Mackenzie (RAM), Vol. 7, nº 1, pp. 11-44, São Paulo – SP, 2006.

MARANHÃO, N. **Sistema de indicadores para planejamento e gestão dos recursos hídricos de bacias hidrográficas**. 2007. 397 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – RJ, 2007.

- MARIANO, E. B.; et al. **Peculiaridades da análise por envoltória de dados**. XII Simpósio de Engenharia de Produção, Bauru – SP, 2006.
- MELLO, J. C. C. B. S. de; et al. **Curso de análise de envoltória de dados**. XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Gramado – RS, 2005.
- MELLO, J. C. C. B. S. de; et al. **Engineering post-graduate programmes: A quality and productivity analysis**. Journal Studies in Educational Evaluation, Vol. 32, pp. 136-152, 2006.
- MEIRELLES, A. M. R. **Uma proposta de SAD para avaliação de eficiência do poder judiciário do estado do Ceará utilizando AED**. 2012. 112 f. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza – CE, 2012.
- MENDOZA, G. A.; MARTINS, H. **Multi-criteria decision analysis in natural resource management: A critical review of methods and new modeling paradigms**. Forest Ecology and Management, Vol. 230, pp. 1-22, 2006.
- NOVAES, A. G. **Avaliação da produtividade de serviços de transporte através da análise envoltória de dados**. Transporte em Transformação. São Paulo – SP: Editora Makron Books, 1998.
- PLOEG, C. G. V.; SOMMERFELD, L. **Charging for water use in Canada**. Canada West Foundation, 2011.
- POMPERMAYER, R. de S.; et al. **Análise multicritério como instrumento de gestão de recursos hídricos: O caso das bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH), Vol. 12, nº 3, pp. 117-127, Porto Alegre – RS, 2007.
- RAJU, K. S.; DUCKSTEIN, L.; ARONDEL, C. **Multicriterion analysis for sustainable water resources planning: A case study in Spain**. Water Resources Management, Vol. 14, pp. 435-456, 2001.
- RODRIGUES, M. V. S.; AQUINO, M. D. de. **Estrutura legal da gestão das águas no Estado do Rio Grande Norte**. Revista de Gestão de Águas da América Latina (REGA), Vol.10, nº 1, pp. 17-28, Porto Alegre – RS, 2013.
- ROGERS, P.; SILVA, R. de; BHATIA, R. **Water is an economic good: How to use prices to promote equity, efficiency, and sustainability**. Water Policy 4, Vol. 1, pp. 1-17, 2002.
- SAITECH, inc. markets decision support systems and optimization tools to solve complex decision problems. **DEA-Solver Professional Version 7.0**. Em: < www.saitech-inc.com > Acesso em: 10 de junho de 2014.
- SALGADO JÚNIOR, A. P.; BONACIM. C. A. G.; PACAGNELLA JÚNIOR, A. C. **Aplicação da análise envoltória de dados (DEA) para avaliação de eficiência de usinas de açúcar e álcool da região nordeste do estado de São Paulo**. Revista Organizações Rurais & Agroindustriais, Vol. 11, nº 3, pp. 494-513, Lavras – MG, 2009.

SENRA, L. F. A. de C.; et al. **Estudo sobre métodos de seleção de variáveis em DEA.** Revista Pesquisa Operacional, Vol. 27, nº 2, pp. 191-207, Rio de Janeiro, 2007.

SILVEIRA, J. Q. da; MELLO, J. C. C. B. S. de; MEZA, L. A. **Evaluación de la eficiencia de las compañías aéreas brasileñas a través de um modelo híbrido de análisis envolvente de datos (DEA) y programación lineal multiobjetivo.** Revista Chilena de Ingeniería, Vol. 20, nº 3, pp. 331-342, 2012.

SKINNER, D.; LANGFOD, J. **Legislating for sustainable basin management: The story of Australia's water act.** Journal Water Policy, Vol. 15, pp. 871-894, 2013.

SOUZA, P. C. T.; WILHELM, V. E. **Uma introdução aos modelos DEA de eficiência técnica.** Revista Tuiuti: Ciência e Cultura, nº 42, pp. 121-139, Curitiba – PR, 2009.

TEIXEIRA, T. C. S. **Um método híbrido de cobrança pelo uso da água bruta, incorporando o valor econômico da água na gestão de recursos hídricos.** 2012. 111 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – RJ, 2012.

THAME, A. C. de M.; et al. **A cobrança pelo uso da água.** São Paulo: IQUAL, Instituto de Qualificação e Editoração LTDA., 2000.

THOMAS, P. T. **Proposta de uma metodologia de cobrança pelo uso da água vinculada à escassez.** 2002. 139 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

THOMAZ, A. C. F. **Estudo de avaliação do desempenho de entrâncias/comarcas/varas/juízes e redesenho da estrutura judiciária do Estado do Ceará.** Relatório Técnico UECE-TJCE, 2009.

TREVISAN, M. L.; et al. **Sensibilidade de fatores para valoração do ambiente com o uso de avaliação multicritério e geoprocessamento digital.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH), Vol. 16, nº 2, pp. 39-48, Porto Alegre – RS, 2011.

VIANA, L. F. G. **Proposta de modelo de cobrança de água bruta no estado do Ceará: Uma revisão do modelo atual.** 2011. 85 p. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza - CE, 2011.

VIEIRA, P. M. S.; STUART, T. M. C. **Proposta metodológica para o desenvolvimento de um índice de sustentabilidade hidro-ambiental de áreas serranas no semiárido brasileiro – Estudo de caso: Maciço de Baturité, Ceará.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH), Vol. 14, nº 4, out/dez, pp. 125-136, 2009.

WARD, F. A.; MICHELSEN, A. **The economic value of water in agriculture: Concepts and policy applications.** Water Policy, Vol. 4, pp. 423-446, 2002.

APÊNDICE A – COBRANÇA FATURADA

Este apêndice tem o objetivo fazer uma síntese do faturamento com a cobrança pelo uso da água bruta nas bacias hidrográficas do Estado do Ceará. As informações fornecidas pela COGERH consiste de um período de 12 meses (1 ano), que vai de maio de 2012 à abril de 2013. Vale salientar durante esse período considerado estava em vigência o Decreto nº 30.629, de 19 de agosto de 2011, que define os valores da tarifa e os critérios da cobrança pelo uso dos recursos hídricos do Estado do Ceará.

No Quadro A.1 são apresentados os valores das tarifas de consumo por categoria de uso definidas no Decreto nº 30.629/2011.

Quadro A.1 – Tarifa pelo uso dos recursos hídricos no Estado do Ceará

Usos/categorias		Tarifa (R\$/1.000 m ³)
Abastecimento	Região Metropolitana de Fortaleza	99,24
	Demais regiões do Estado – sem adução da COGERH	32,77
	Demais regiões do Estado – com adução da COGERH	300,00
Indústria	Sem adução da COGERH	431,56
	Com adução da COGERH	1.484,60
Irrigação	De 1.440 a 18.999 m ³ /mês – sem adução da COGERH	1,00
	A partir de 19.000 m ³ /mês – sem adução da COGERH	3,00
	De 1.440 a 46.999 m ³ /mês – com adução da COGERH	7,84
	A partir de 47.000 m ³ /mês – com adução da COGERH	12,55
Piscicultura	Tanque escavado – sem adução da COGERH	3,00
	Tanque escavado – com adução da COGERH	12,55
	Tanque rede	35,78
Carcinicultura	Sem adução da COGERH	3,00
	Com adução da COGERH	12,55
Demais usos	Sem adução da COGERH	99,24
	Com adução da COGERH	300,00
Água mineral e potável de mesa		431,56

Fonte: Elaboração do autor, 2014¹.

¹ Decreto 30.629, de 19 de agosto de 2011.

Vale ressaltar que apesar do Estado está dividido atualmente em 12 bacias hidrográficas, os dados fornecidos pela COGERH ainda apresentam as bacias dos Sertões de Crateús e da Serra da Ibiapaba unificadas. Desta forma, os dados fornecidos se referem as seguintes bacias: Metropolitana, Curu, Alto Jaguaribe, Médio Jaguaribe, Baixo Jaguaribe, Salgado, Litoral, Acaraú, Coreau, Parnaíba e Banabuiú.

As categorias de uso dos recursos hídricos no Estado do Ceará relacionada a cobrança pelo uso da água pode ser distribuídas nas seguintes categorias: Indústria, Abastecimento público, Irrigação, Aquicultura (piscicultura e carcinicultura) e Demais categorias (incluindo água mineral e potável de mesa).

Nas Tabelas de A.1 até A.11, são apresentados os volumes consumidos totais e os faturamentos totais, além da quantidade total de usuários por setor de categoria nas bacias hidrográficas do Estado do Ceará.

Tabela A.1 – Consumo e faturamento com a cobrança pelo uso da água por setor usuário na bacia hidrográfica Metropolitana

Setor usuário	Nº	Consumo (m³)	Faturamento (R\$)
Indústria	121	21.201.494,13	29.866.171,45
Abastecimento público	42	281.970.523,29	28.204.200,79
Irrigação	48	17.302.943,33	175.603,94
Aquicultura	24	5.155.710,60	114.043,44
Demais categorias	90	2.406.234,09	468.051,78
Total	325	328.036.905,44	58.828.071,40

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Tabela A.2 – Consumo e faturamento com a cobrança pelo uso da água por setor usuário na bacia hidrográfica do Curu

Setor usuário	Nº	Consumo (m³)	Faturamento (R\$)
Indústria	40	156.165,73	67.395,03
Abastecimento público	14	9.038.515,89	296.192,18
Irrigação	25	22.654.909,29	44.633,69
Aquicultura	6	1.741.087,40	3.964,67
Demais categorias	9	102.801,99	11.005,79
Total	94	33.693.480,30	423.191,36

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Tabela A.3 – Consumo e faturamento com a cobrança pelo uso da água por setor usuário na bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe

Setor usuário	Nº	Consumo (m³)	Faturamento (R\$)
Indústria	19	25.577,26	11.038,14
Abastecimento público	21	15.021.544,23	492.255,98
Irrigação	25	2.655.018,85	10.248,18
Aquicultura	6	206.592,55	5.972,58
Demais categorias	12	98.470,41	9.772,21
Total	83	18.007.203,30	529.287,09

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Tabela A.4 – Consumo e faturamento com a cobrança pelo uso da água por setor usuário na bacia hidrográfica do Médio Jaguaribe

Setor usuário	Nº	Consumo (m³)	Faturamento (R\$)
Indústria	26	640.746,23	276.520,40
Abastecimento público	17	13.583.183,74	445.120,96
Irrigação	73	149.909.007,51	889.856,13
Aquicultura	33	23.747.205,38	50.643,70
Demais categorias	5	125.505,29	15.516,05
Total	154	188.005.648,15	1.677.657,25

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Tabela A.5 – Consumo e faturamento com a cobrança pelo uso da água por setor usuário na bacia hidrográfica do Baixo Jaguaribe

Setor usuário	Nº	Consumo (m³)	Faturamento (R\$)
Indústria	87	149.486,77	64.512,40
Abastecimento público	7	5.226.680,00	171.278,31
Irrigação	12	21.055.233,12	43.252,74
Aquicultura	4	768.606,12	1.767,78
Demais categorias	1	112.500,00	11.164,50
Total	111	27.312.506,01	291.975,73

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Tabela A.6 – Consumo e faturamento com a cobrança pelo uso da água por setor usuário na bacia hidrográfica do Salgado

Setor usuário	Nº	Consumo (m³)	Faturamento (R\$)
Indústria	60	583.954,33	252.011,30
Abastecimento público	32	48.047.543,68	1.574.518,07
Irrigação	12	8.932.232,08	16.618,23
Aquicultura	4	174.853,33	6.256,24
Demais categorias	31	524.351,64	72.746,66
Total	139	58.262.935,06	1.922.150,50

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Tabela A.7 – Consumo e faturamento com a cobrança pelo uso da água por setor usuário na bacia hidrográfica do Litoral

Setor usuário	Nº	Consumo (m³)	Faturamento (R\$)
Indústria	3	205.910,00	302.187,35
Abastecimento público	6	6.545.175,87	214.485,37
Irrigação	3	513.646,44	410,28
Aquicultura	0	0,00	0,00
Demais categorias	3	76.443,86	7.586,25
Total	15	7.341.176,17	524.669,25

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Tabela A.8 – Consumo e faturamento com a cobrança pelo uso da água por setor usuário na bacia hidrográfica do Acaraú

Setor usuário	Nº	Consumo (m³)	Faturamento (R\$)
Indústria	53	681.287,10	294.611,26
Abastecimento público	35	39.020.086,73	1.278.688,19
Irrigação	10	934.976,11	1.095,52
Aquicultura	1	45.600,00	1.631,57
Demais categorias	21	141.144,74	22.096,08
Total	120	40.823.094,68	1.598.122,62

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Tabela A.9 – Consumo e faturamento com a cobrança pelo uso da água por setor usuário na bacia hidrográfica do Coreaú

Setor usuário	Nº	Consumo (m³)	Faturamento (R\$)
Indústria	12	75.389,47	32.535,06
Abastecimento público	6	4.283.941,04	140.384,72
Irrigação	1	49.027,00	23,83
Aquicultura	0	0,00	0,00
Demais categorias	1	3.495,70	1.048,70
Total	20	4.411.853,21	173.992,31

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Tabela A.10 – Consumo e faturamento com a cobrança pelo uso da água por setor usuário na bacia hidrográfica do Parnaíba

Setor usuário	Nº	Consumo (m³)	Faturamento (R\$)
Indústria	13	89.622,00	38.677,26
Abastecimento público	11	16.190.356,62	530.558,01
Irrigação	26	9.567.450,32	16.582,35
Aquicultura	0	0,00	0,00
Demais categorias	8	113.387,95	24.707,93
Total	58	25.960.816,89	610.525,55

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Tabela A.11 – Consumo e faturamento com a cobrança pelo uso da água por setor usuário na bacia hidrográfica do Banabuiú

Setor usuário	Nº	Consumo (m³)	Faturamento (R\$)
Indústria	11	25.305,22	10.920,71
Abastecimento público	13	15.052.458,03	493.269,09
Irrigação	87	15.407.150,77	26.996,31
Aquicultura	2	1.169.833,66	3.585,08
Demais categorias	5	48.123,95	20.592,91
Total	118	31.702.871,63	555.364,10

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Na Tabela A.12 são apresentadas as informações de consumo e de faturamento com a cobrança por uso da água bruta por bacia hidrográfica, além da quantidade de usuários faturados nessas bacias. No Estado do Ceará são ao todo 1237 usuários faturados com a cobrança pelo uso da água bruta, apresentando um faturamento total de R\$ 67.135.007,15

(Sessenta e sete milhões, cento e trinta e cinco mil e sete reais e quinze centavos), com um total de 763.558.490,84 de metros cúbicos de água consumida.

Tabela A.12 – Consumo e faturamento com a cobrança por bacia hidrográfica no Estado do Ceará

Bacia hidrográfica	Nº	Consumo (m³)	Faturamento (R\$)
Metropolitana	325	328.036.905,44	58.828.071,40
Curu	94	33.693.480,30	423.191,36
Alto Jaguaribe	83	18.007.203,30	529.287,09
Médio Jaguaribe	154	188.005.648,15	1.677.657,25
Baixo Jaguaribe	111	27.312.506,01	291.975,73
Salgado	139	58.262.935,06	1.922.150,50
Litoral	15	7.341.176,17	524.669,25
Acaraú	120	40.823.094,68	1.598.122,62
Coreaú	20	4.411.853,21	173.992,31
Parnaíba	58	25.960.816,89	610.525,55
Banabuiú	118	31.702.871,63	555.364,10
Total Geral	1237	763.558.490,84	67.135.007,16

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

A bacia que mais contribui com a cobrança no Ceará é a bacia Metropolitana, com um faturamento de R\$ 58.828.071,40 (Cinquenta e oito milhões, oitocentos e vinte e oito mil e setenta e um reais e quarenta centavos), o que representa cerca de 87,6% de todo o faturamento do Estado, e um consumo total de 328.036.905,44 metros cúbicos por essa bacia.

Na Tabela A.13 são apresentados os consumos e os faturamentos com a cobrança pelo uso da água, além da quantidade de usuários faturados por categoria de uso.

Tabela A.13 – Consumo e faturamento com a cobrança por setor usuário no Estado do Ceará

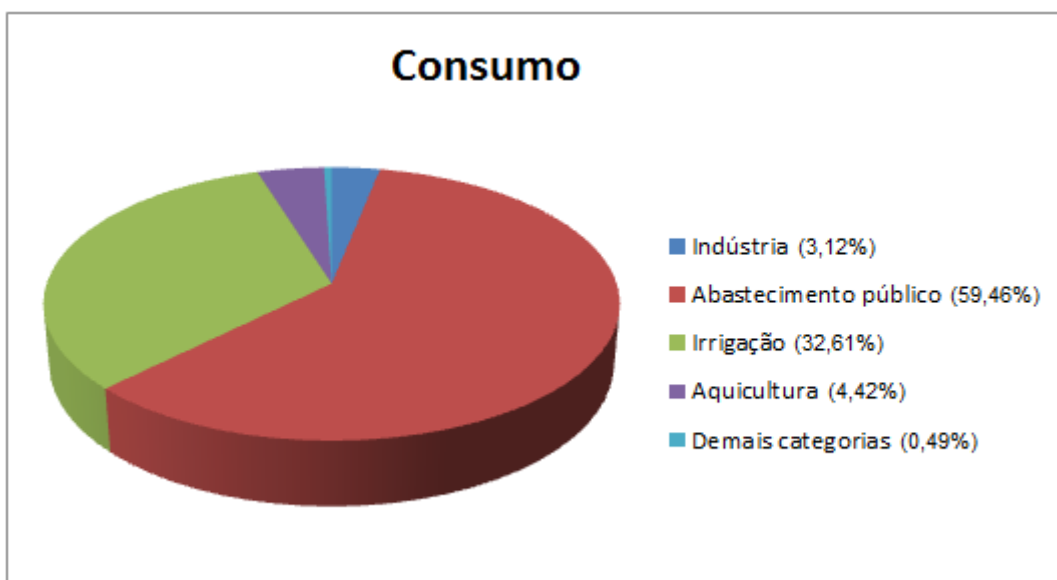
Setor usuário	Nº	Consumo (m³)	Faturamento (R\$)
Indústria	445	23.834.938,24	31.216.580,36
Abastecimento público	204	453.980.009,12	33.840.951,67
Irrigação	322	248.981.594,82	1.225.321,20
Aquicultura	80	33.009.489,04	187.865,06
Demais categorias	186	3.752.459,62	664.288,86
Total	1237	763.558.490,84	67.135.007,15

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Conforme mostrado na Tabela A.13, o uso que mais contribui com o faturamento da cobrança no Estado do Ceará é o abastecimento, com um faturamento total de R\$ 33.840.951,67 (Trinta e três milhões, oitocentos e quarenta mil, novecentos e cinquenta e um reais e sessenta centavos), o que representa cerca de 50,40% de todo o faturamento, e um consumo de 453.980.009,12 metros cúbicos, que representa um percentual de cerca de 59,46% de todo o consumo no Estado. Este setor também apresenta 204 usuários faturados no Estado.

Na Figura A.1 tem-se o percentual de cada setor usuário de recursos hídricos do Estado referentes ao volume efetivamente consumido.

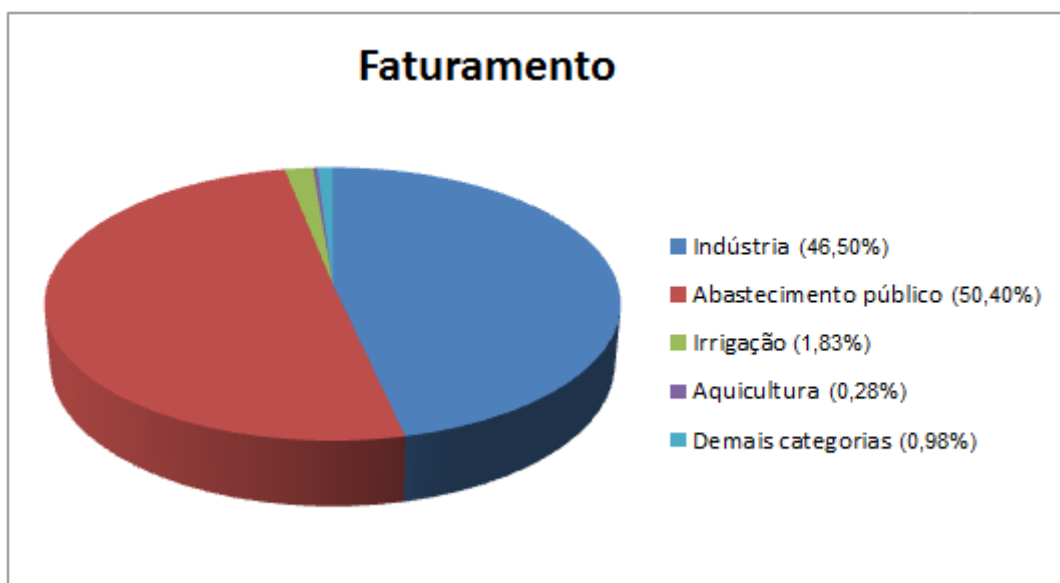
Figura A.1 – Percentual de volume consumido por categoria de uso no Estado do Ceará



Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Na Figura A.1 tem-se que o volume total consumido pelo setor industrial representa cerca de 3,12%, menor do que os setores da irrigação e aquicultura, porém o faturamento com a cobrança para esse setor é muito significativo, conforme mostrado na Tabela A.13. Isto se deve ao fato que o preço da água para a indústria ser muito superior ao da irrigação e da aquicultura. A indústria é o setor que mais apresenta usuários faturados, ao todo são 445 usuários industriais cadastrados, que representa cerca de 35,97% de todo o Estado do Ceará.

Figura A.2 – Percentual de faturamento com a cobrança por categoria de uso no Estado do Ceará



Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Pode-se então concluir que os principais usos são a indústria, o abastecimento público e a irrigação, que juntos representam um faturamento de R\$ 66.282.853,23 (Sessenta e seis milhões, duzentos e oitenta e dois mil, oitocentos e cinquenta e três reais e vinte e três centavos), o que representa 98,7% de todo o estado. Em relação ao consumo esses três usos consomem ao todo 726.796.542,10 metros cúbicos de água bruta, representado 95,2 de todo o Estado.

APÊNDICE B – OUTORGA EMITIDAS

O período de consulta dos dados de outorgas são referentes as emissões até abril de 2013. No Estado do Ceará, são emitidas outorgas, tanto para captações em águas superficiais como para extrações em aquíferos subterrâneos, para as seguintes categorias: Indústria; Abastecimento público; Irrigação; Aquicultura; Água mineral; Dessedentação animal; Turismo e lazer; Demais usos; Diluição de efluentes.

Nas Tabelas B.1 até B.11 são apresentados as informações referentes as outorgas emitidas pela Secretaria do Estado do Ceará de Recursos Hídricos, tanto para as captações em corpos d'água superficiais como para as extrações em corpos d'água subterrâneos, para as categorias de usos nas bacias hidrográficas cearense. Também são apresentadas as quantidades de outorgas emitidas pela SRH.

Tabela B.1 – Quantidade de outorgas emitidas e o volume total outorgado por categoria de uso, tanto superficial como subterrânea, na bacia hidrográfica Metropolitana

Setor usuário	Águas superficiais		Águas subterrâneas	
	Nº	Vol_out (m ³)	Nº	Vol_out (m ³)
Indústria	91	143.631.009,48	53	4.645.593,03
Abastecimento público	77	169.018.144,70	22	2.418.165,48
Irrigação	44	21.513.436,17	9	125.555,32
Aquicultura	6	209.803,36	1	26.280,00
Água Mineral	0	0,00	44	881.288,50
Dessedentação Animal	12	12.061,87	3	257.142,50
Turismo e Lazer	4	2.026.708,90	5	546.770,00
Demais Usos	15	2.792.911,26	37	537.326,94
Diluição de Efluentes	6	10.874.401,00	0	0,00
Total	255	350.078.476,74	174	9.438.121,77

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Tabela B.2 – Quantidade de outorgas emitidas e o volume total outorgado por categoria de uso, tanto superficial como subterrânea, na bacia hidrográfica do Curu

Setor usuário	Águas superficiais		Águas subterrâneas	
	Nº	Vol_out (m ³)	Nº	Vol_out (m ³)
Indústria	1	4.380,00	5	5.916,65
Abastecimento público	40	9.031.931,99	7	234.366,50
Irrigação	173	81.015.063,41	2	48.125,97
Aquicultura	6	4.790.991,92	0	0,00
Água Mineral	0	0,00	0	0,00
Dessedentação Animal	0	0,00	1	3.139,00
Turismo e Lazer	0	0,00	0	0,00
Demais Usos	0	0,00	2	7.482,50
Diluição de Efluentes	0	0,00	0	0,00
Total	220	94.842.367,32	17	299.030,62

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Tabela B.3 – Quantidade de outorgas emitidas e o volume total outorgado por categoria de uso, tanto superficial como subterrânea, na bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe

Setor usuário	Águas superficiais		Águas subterrâneas	
	Nº	Vol_out (m ³)	Nº	Vol_out (m ³)
Indústria	3	45.734,50	13	94.042,25
Abastecimento público	70	70.725.974,29	27	733.905,50
Irrigação	52	7.628.256,82	14	2.882.650,33
Aquicultura	2	600.000,00	0	0,00
Água Mineral	0	0,00	0	0,00
Dessedentação Animal	1	30.660,00	5	120.318,60
Turismo e Lazer	0	0,00	0	0,00
Demais Usos	1	9.015,00	3	8.212,50
Diluição de Efluentes	1	150.423,80	0	0,00
Total	130	79.190.064,41	62	3.839.129,18

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Tabela B.4 – Quantidade de outorgas emitidas e o volume total outorgado por categoria de uso, tanto superficial como subterrânea, na bacia hidrográfica do Médio Jaguaribe

Setor usuário	Águas superficiais		Águas subterrâneas	
	Nº	Vol_out (m ³)	Nº	Vol_out (m ³)
Indústria	2	132.677,50	0	0,00
Abastecimento público	45	5.194.418,00	11	1.222.184,15
Irrigação	33	14.180.107,93	8	1.741.113,58
Aquicultura	0	0,00	0	0,00
Água Mineral	0	0,00	0	0,00
Dessedentação Animal	11	52.828,35	0	0,00
Turismo e Lazer	0	0,00	0	0,00
Demais Usos	1	2.737,50	0	0,00
Diluição de Efluentes	0	0,00	0	0,00
Total	92	19.562.769,28	19	2.963.297,73

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Tabela B.5 – Quantidade de outorgas emitidas e o volume total outorgado por categoria de uso, tanto superficial como subterrânea, na bacia hidrográfica do Baixo Jaguaribe

Setor usuário	Águas superficiais		Águas subterrâneas	
	Nº	Vol_out (m ³)	Nº	Vol_out (m ³)
Indústria	1	1.891,00	37	749.894,06
Abastecimento público	40	5.018.391,70	4	647.379,86
Irrigação	93	163.753.841,93	82	12.302.426,18
Aquicultura	17	9.180.285,88	2	583.178,18
Água Mineral	0	0,00	2	10.585,00
Dessedentação Animal	22	449.141,34	0	0,00
Turismo e Lazer	0	0,00	0	0,00
Demais Usos	2	2.098,75	3	75.190,00
Diluição de Efluentes	1	5.298.901,00	0	0,00
Total	176	183.704.551,60	130	14.368.653,28

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Tabela B.6 – Quantidade de outorgas emitidas e o volume total outorgado por categoria de uso, tanto superficial como subterrânea, na bacia hidrográfica do Salgado

Setor usuário	Águas superficiais		Águas subterrâneas	
	Nº	Vol_out (m ³)	Nº	Vol_out (m ³)
Indústria	1	2.080,50	67	1.528.049,15
Abastecimento público	18	17.397.208,60	91	6.779.498,66
Irrigação	26	2.504.620,46	198	9.729.868,20
Aquicultura	1	94.404,00	0	0,00
Água Mineral	0	0,00	2	30.806,00
Dessedentação Animal	1	7.300,00	5	6.369,25
Turismo e Lazer	0	0,00	19	764.057,42
Demais Usos	1	12.921,00	19	423.487,60
Diluição de Efluentes	0	0,00	0	0,00
Total	48	20.018.534,56	401	19.262.136,28

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Tabela B.7 – Quantidade de outorgas emitidas e o volume total outorgado por categoria de uso, tanto superficial como subterrânea, na bacia hidrográfica do Litoral

Setor usuário	Águas superficiais		Águas subterrâneas	
	Nº	Vol_out (m ³)	Nº	Vol_out (m ³)
Indústria	0	0,00	5	103.937,40
Abastecimento público	18	7.896.495,65	10	345.756,47
Irrigação	12	2.887.932,75	7	2.231.652,42
Aquicultura	5	1.212.038,40	0	0,00
Água Mineral	0	0,00	2	14.600,00
Dessedentação Animal	0	0,00	2	21.535,00
Turismo e Lazer	0	0,00	1	10.512,00
Demais Usos	2	113.880,00	7	92.300,00
Diluição de Efluentes	0	0,00	0	0,00
Total	37	12.110.346,80	34	2.820.293,29

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Tabela B.8 – Quantidade de outorgas emitidas e o volume total outorgado por categoria de uso, tanto superficial como subterrânea, na bacia hidrográfica do Acaraú

Setor usuário	Águas superficiais		Águas subterrâneas	
	Nº	Vol_out (m ³)	Nº	Vol_out (m ³)
Indústria	7	1.774.228,50	7	303.614,30
Abastecimento público	44	34.715.516,93	15	4.168.172,25
Irrigação	10	848.115,40	2	130.450,56
Aquicultura	0	0,00	0	0,00
Água Mineral	0	0,00	0	0,00
Dessedentação Animal	1	545,83	0	0,00
Turismo e Lazer	0	0,00	0	0,00
Demais Usos	0	0,00	0	0,00
Diluição de Efluentes	1	32.005,20	0	0,00
Total	63	37.370.411,86	24	4.602.237,11

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Tabela B.9 – Quantidade de outorgas emitidas e o volume total outorgado por categoria de uso, tanto superficial como subterrânea, na bacia hidrográfica do Coreaú

Setor usuário	Águas superficiais		Águas subterrâneas	
	Nº	Vol_out (m ³)	Nº	Vol_out (m ³)
Indústria	0	0,00	3	13.541,50
Abastecimento público	8	3.569.860,60	10	1.241.573,05
Irrigação	3	2.138.580,22	1	44.420,77
Aquicultura	0	0,00	0	0,00
Água Mineral	0	0,00	0	0,00
Dessedentação Animal	0	0,00	0	0,00
Turismo e Lazer	0	0,00	1	1.277,50
Demais Usos	0	0,00	1	1.095,00
Diluição de Efluentes	0	0,00	0	0,00
Total	11	5.708.440,82	16	1.301.907,82

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Tabela B.10 – Quantidade de outorgas emitidas e o volume total outorgado por categoria de uso, tanto superficial como subterrânea, na bacia hidrográfica do Parnaíba

Setor usuário	Águas superficiais		Águas subterrâneas	
	Nº	Vol_out (m ³)	Nº	Vol_out (m ³)
Indústria	1	96.177,50	1	112.420,00
Abastecimento público	11	11.965.574,61	12	177.360,80
Irrigação	27	5.789.476,44	18	438.517,98
Aquicultura	0	0,00	0	0,00
Água Mineral	0	0,00	4	70.262,50
Dessedentação Animal	0	0,00	2	17.344,80
Turismo e Lazer	0	0,00	0	0,00
Demais Usos	0	0,00	3	20.148,00
Diluição de Efluentes	0	0,00	0	0,00
Total	39	17.851.228,55	40	836.054,08

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Tabela B.11 – Quantidade de outorgas emitidas e o volume total outorgado por categoria de uso, tanto superficial como subterrânea, na bacia hidrográfica do Banabuiú

Setor usuário	Águas superficiais		Águas subterrâneas	
	Nº	Vol_out (m ³)	Nº	Vol_out (m ³)
Indústria	2	395.860,00	3	48.180,00
Abastecimento público	149	14.223.237,63	13	727.382,45
Irrigação	100	60.298.398,95	2	190.893,06
Aquicultura	1	120.000,00	0	0,00
Água Mineral	0	0,00	3	27.006,35
Dessedentação Animal	46	60.533,64	0	0,00
Turismo e Lazer	0	0,00	0	0,00
Demais Usos	2	66.430,00	0	0,00
Diluição de Efluentes	0	0,00	0	0,00
Total	300	75.164.460,22	21	993.461,86

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Analisando os dados das Tabelas de B.1 até B.11, pode-se afirmar em quase todas as bacias cearenses as outorgas emitidas são principalmente provenientes de corpos superficiais, excetuando a bacia do Salgado que tem uma importante contribuição dos aquíferos subterrâneos.

Outro fato importante verificado na análise dessas tabelas, é que no Estado do Ceará está emitindo outorgas para lançamento de efluentes em corpos d'água superficiais, mesmo não havendo ainda a cobrança pelo lançamento de efluentes.

Na Tabela B.12 são apresentados os volumes outorgados, tanto superficiais como subterrâneos, em todo o Estado do Ceará por bacia hidrográfica. Também são apresentados a quantidade de outorga emitidas tanto para águas superficiais como para águas subterrâneas.

Tabela B.12 – Quantidade de outorgas emitidas e o volume total outorgado, tanto superficial como subterrânea, por bacia hidrográfica do Estado do Ceará

Bacia hidrográfica	Águas superficiais		Águas subterrâneas	
	Nº	Vol_out (m ³)	Nº	Vol_out (m ³)
Metropolitana	255	350.078.476,74	174	9.438.121,77
Curu	220	94.842.367,32	17	299.030,62
Alto Jaguaribe	130	79.190.064,91	62	3.839.129,18
Médio Jaguaribe	92	19.562.769,28	19	2.963.297,73
Baixo Jaguaribe	176	183.704.551,60	130	14.368.653,28
Salgado	48	20.018.534,56	401	19.262.136,28
Litoral	37	12.110.346,80	34	2.820.293,29
Acaraú	63	37.370.411,86	24	4.602.237,11
Coreaú	11	5.708.440,82	16	1.301.907,82
Parnaíba	39	17.851.228,55	40	836.054,08
Banabuiú	300	75.164.460,22	21	993.461,86
Total	1371	895.601.652,66	938	60.724.323,02

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Analisando os dados da Tabela B.12 pode-se afirmar que a bacia Metropolitana é a mais importante em relação ao volume total outorgado, com um volume total outorgado de 359.516.598,51 metros cúbicos e um total de 429 outorgas emitidas pela SRH até abril de 2012. Em seguida, vem a bacia do Baixo Jaguaribe, com um volume total outorgado de 198.073.204,88 metros cúbicos e um total de 306 outorgas emitidas até abril de 2012.

Ainda de acordo com a Tabela B.12 pode-se chegar a conclusão que cerca de 93,6% do volume outorgado do Estado do Ceará deve-se a corpos hídricos de águas superficiais (rios, reservatórios). O volume total outorgado no Estado é de 956.325.975,68 metros cúbicos e um total de 2309 outorgas emitidas até abril de 2012.

Em seguida, na Tabela B.13 são apresentados os volumes outorgados, superficiais e subterrâneos, em todo o Estado por categoria de uso. Nesta tabela são dados as quantidades de outorga para cada setor de uso.

Tabela B.13 – Quantidade de outorgas emitidas e o volume total outorgado, tanto superficial como subterrânea, por categoria de uso do Estado do Ceará

Setor usuário	Águas superficiais		Águas subterrâneas	
	Nº	Vol_out (m ³)	Nº	Vol_out (m ³)
Indústria	109	146.084.038,98	194	7.605.188,34
Abastecimento público	520	348.756.754,70	222	18.695.745,17
Irrigação	573	362.557.830,48	343	29.865.674,37
Aquicultura	38	16.207.523,56	3	609.458,18
Água Mineral	0	0,00	57	1.034.548,35
Dessedentação Animal	94	613.071,03	18	425.849,15
Turismo e Lazer	4	2.026.708,90	26	1.322.616,92
Demais Usos	24	2.999.993,51	75	1.165.242,54
Diluição de Efluentes	9	16.355.731,00	0	0,00
Total	1371	895.601.652,16	938	60.724.323,02

Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Através da análise dos dados mostrado na Tabela B13, pode-se afirmar que o setor usuário com o maior volume outorgado, tanto superficial como subterrâneo, é a irrigação com um volume total outorgado de 392.423.504,80 metros cúbicos e um total de 916 outorgas emitidas até abril de 2012. O abastecimento público vem logo em seguida com um volume outorgado de 367.452.499,90 metros cúbicos e um total de 742 outorgas emitidas até abril de 2012.

Ainda de acordo com os dados informados na Tabela B13, pode-se chegar à conclusão que os setores da indústria, do abastecimento público e da irrigação, são as principais categorias de uso para os instrumento de outorga no Estado do Ceará.

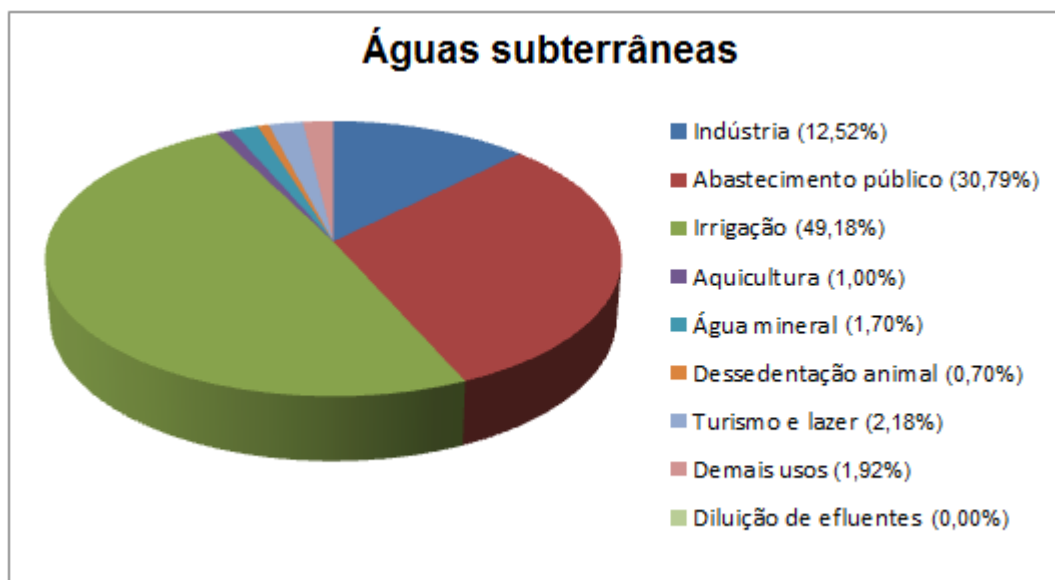
Em seguida, nas Figuras B.1 e B.2 tem a distribuição em percentual dos volumes outorgados por cada categoria de uso, separados em águas superficiais e águas subterrâneas, respectivamente.

Figura B.1 – Percentual dos volumes outorgados de corpos superficiais por categoria de uso no Estado do Ceará



Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Figura B.2 – Percentual dos volumes outorgados de corpos subterrâneos por categoria de uso no Estado do Ceará



Fonte: Elaboração do autor, 2014.

Por intermédio das Figuras B.1 e B.2, pode-se enfatizar a importância dos setores da indústria, do abastecimento público e da irrigação no Estado do Ceará, em relação à outorga, que juntos representam 95,73% dos volumes outorgados de corpos superficiais e 92,49% dos volumes outorgados de corpos subterrâneos.