

## I-240 – AVALIAÇÃO DE CUSTOS DE PROCESSOS EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA CONVENCIONAIS NO DISTRITO FEDERAL - ESTUDO DE CASO DA REFORMA DA ETA BRASÍLIA

**Marcelo Rodrigues Barreto<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Ambiental pela Universidade de Brasília.

**Fuad Moura Guimarães Braga**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Ceará (UFC), Mestre em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade de Brasília (UnB) e Analista de Sistemas de Saneamento da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (Caesb).

**Cristina Celia Brandão<sup>(1)</sup>**

Engenheira Química, Doutora em Engenharia Ambiental pelo Imperial College of Science, Technology and Medicine (Londres, UK). Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília (UnB).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília. Campus Universitário Darcy Ribeiro. Brasília – DF. CEP: 70.910-900. Endereços eletrônicos: [marcelorbarreto@hotmail.com](mailto:marcelorbarreto@hotmail.com), [cbrandao@unb.br](mailto:cbrandao@unb.br).

### RESUMO

O presente trabalho avaliou a aplicação de curvas paramétricas para a estimativa de custos de instalação de unidades de processo de tratamento de água.

O estudo de caso escolhido foi a reforma da ETA Brasília realizada entre os anos de 2008 a 2011 com o total remodelamento dos processos de tratamento. Parte importante do trabalho foi estabelecer os custos reais da reforma, realizado a partir da organização de dados disponíveis nos relatórios da obra.

Foram utilizadas para as estimativas de custos as curvas paramétricas propostas por McGivney e Kawamura (2008) e Sharma et al. (2013) para diversas unidades de processos presentes na ETA Brasília.

Os resultados obtidos das estimativas foram variados, com algumas curvas obtendo boas acurácias enquanto outras ficaram muito distantes dos custos reais levantados. Observou-se que as curvas se comportaram melhor para operações unitárias que tinham custos baixos a moderados, tendo muita dificuldade em estimar as unidades com custos mais elevados da estação. Foi possível ainda propor a viabilidade de aplicação de certas curvas em outros processos com características semelhantes.

As avaliações concluíram que as curvas paramétricas apresentam grande potencial para aplicação no campo de tratamento de água, porém a variabilidade cultural em práticas construtivas, associado a outras especificidades locais torna necessário uma maior quantidade de estudos e dados sobre o tema para permitir a aplicação dessas ferramentas na realidade nacional.

**PALAVRAS-CHAVE:** Custos de Tratamento de Água, Avaliação Econômica de Projeto.

### INTRODUÇÃO

Dentro de um cenário de acelerado dinamismo econômico, as escolhas tomadas por empresas precisam de um embasamento adequado a fim de possibilitar alocações ótimas de recursos.

A capacidade de estabelecer estimativas de custos acuradas confere vantagens competitivas às empresas, ajudando essas companhias a desenvolver e executar suas estratégias baseadas em informações consistentes sobre os custos de seus produtos e serviços, de seus processos internos e da sua relação com consumidores e fornecedores.

Apesar de ser um tópico onde a experiência do estimador tem um papel preponderante, existe hoje um corpo considerável de literatura sobre o tema que pode servir como poderosa ferramenta na avaliação econômica de projetos.

A utilização adequada dessas ferramentas pressupõe a percepção que os resultados da aplicação dos métodos disponíveis dependem diretamente dos níveis de informações disponíveis para as estimativas. A partir desse entendimento, a Associação Internacional para o Avanço dos Custos em Engenharia (AACE International) desenvolveu, uma classificação dos métodos de acordo com o nível de definição de projeto, o objetivo da estimativa e a acurácia esperada, conforme apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1 – Classes de estimativas de custo estabelecidas pela Associação para o Avanço de Custos em Engenharia (AACE INTERNATIONAL, 2011 - Modificado).**

Classe	Nível de definição do projeto	Objetivo	Método	Acurácia	Esforço Requerido (% custo total)
Classe 5	0 a 2%	Viabilidade	Fatoração por capacidade, modelos paramétricos, julgamento ou analogia.	-20% a -50% +30 a +100%	0,005%
Classe 4	1 a 15%	Conceitual	Fator Lang ou modelos paramétricos.	-15% a -30% +20% a +50%	0,01% a 0,02%
Classe 3	10 a 40%	Orçamento, autorização ou controle	Custos unitários semi-detalhados dos itens dos processos	-10% a -20% +10% a +30%	0,015% a 0,05%
Classe 2	30 a 70%	Controle ou proposta/lance	Custos unitários detalhados	-5% a -15% +5 a +20%	0,025% a 0,1%
Classe 1	50 a 100%	Conferência de estimativa ou proposta/lance	Custos unitários detalhados	-3% a -10% +3% a +15%	0,05% a 0,5%

Compreender que tipo de informações são necessárias para estimativas em cada ponto do projeto, e distinguir suas limitações e acurácia, são essenciais para permitir decisões informadas no andamento do projeto.

No Brasil, o ramo de saneamento carece ainda de referências de estudos aplicados sobre o tema e, considerando que resta ao país realizar cerca de R\$ 255 bilhões (OLIVEIRA et al., 2011) para atingir suas metas de universalização dos serviços, é de vital importância que seja dada a devida atenção ao tema para que esses recursos possam ser aplicados da maneira mais eficiente.

Associado a necessidade de ampliação do sistema, a degradação de mananciais utilizados como fonte de abastecimento e o recrudescimento dos padrões de potabilidade têm obrigado diversas companhias de saneamento a realizar adaptações nas Estações de Tratamento de Água hoje existentes, ampliando ainda mais os recursos a serem destinados ao setor.

Foi selecionado para avaliação nesse trabalho o método de curvas paramétricas pela sua capacidade de estimar individualmente custos de processos de tratamento, a partir de parâmetros básicos de projeto, ainda no seu período inicial de concepção. Além disso, a absoluta escassez publicações nacionais contrasta com uma quantidade razoável de trabalhos internacionais sobre o tema (GUNNERMAN *et al.*, 1979; OKUN e SCHULTZ, 1984; QASIM *et al.*, 1992; MCGIVNEY e KAWAMURA, 2008; USEPA, 2010; SHARMA *et al.*, 2013), sugerindo uma lacuna de conhecimento que merece uma maior atenção por parte da comunidade científica nacional.

Modelos paramétricos de custos são representações matemáticas que estabelecem uma correlação lógica e previsível entre as características físicas ou funcionais de uma instalação com o seu custo resultante (AACE INTERNATIONAL, 2004). O desenvolvimento desse tipo de modelo na literatura internacional tem um marco importante com a publicação, no final da década de 70, de um manual de 4 volumes pela Agência Norte Americana de Proteção Ambiental (USEPA) (GUNNERMAN *et al.*, 1979) com curvas de custo de construção e operação para 99 operações unitárias no tratamento de água. A partir desse estudo, diversos autores propuseram atualizações e adaptações as curvas apresentadas, conservando porém os conceitos e a abordagem adotados no trabalho original

O objetivo do trabalho foi avaliar a capacidade de dois modelos paramétricos internacionais (MCGIVNEY e KAWAMURA, 2008 e SHARMA *et al.*, 2013) de estimar custos de construção em estações de tratamento de água do país, utilizando para tal, o estudo de caso da reforma da ETA Brasília. O trabalho se insere no esforço de difundir a importância da discussão da avaliação econômica de projetos, particularmente no que se refere a estimativas de custo de projetos, a fim de ampliar as fontes de informações sobre o tema e proporcionar uma melhor compreensão do assunto no país.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Com intuito de compreender melhor o projeto de reforma da ETA Brasília, inicialmente foram realizadas visitas ao local para coleta de dados. Durante essas visitas foram colhidas informações através da revisão do projeto de reforma e documentos associados, de entrevistas com a gerência e operadores da estação e da inspeção das unidades instaladas para conferência dos itens descritos nos relatórios.

Foi possível durante o processo ter acesso a 47ª medição de serviços realizados pelo consórcio contratado, permitindo a verificação dos custos unitários dos serviços realizados na reforma, além do manual de operação da estação, contendo todas informações e parâmetros dos processos instalados na estação.

As informações colhidas durante as visitas e nos documentos disponibilizados foram compiladas, organizadas e calculados os custos específicos para cada etapa do processo de tratamento, sendo considerada essa sistematização parte significativa dos resultados do trabalho.

Encontrou-se uma grande heterogeneidade no nível de detalhamento das informações contidas nos documentos disponibilizados. Isto forçou que fossem adotados alguns artifícios para separação dos custos em suas respectivas unidades de processo, tais como a faturação de alguns custos e inclusive a estimação de algumas estruturas a partir de orçamentos de outras ETAs.

Foi necessário também ajustar os custos de mão de obra, apresentados por vezes contabilizado junto ao custo do serviço realizado mas por outras listado separadamente. Para evitar distorções na avaliação, quando disponíveis separadamente, os custos de mão de obra foram agregados aos custos dos seus itens geradores, por exemplo, o custo de montagem de um equipamento foi agregado ao valor do próprio equipamento.

Os itens de custo foram separados por categorias para comparação com os dados disponíveis nas curvas de custo estudadas. As categorias referem-se a custos de: a) Equipamento manufaturados, b) Concreto e armação metálica, c) edificações, d) tubulações, válvulas e conexões, e) instalações elétricas e automação.

Optou-se por não considerar na avaliação os itens de custos relativos à escavação, à movimentação de terra e às tubulações entre unidades de processos. Essa escolha foi motivada pelo fato de se considerar esses custos muito susceptíveis a definições de layout adotado e características físicas do terreno disponível para estação, desviando-se em parte das características intrínsecas processos, foco principal do trabalho.

Para realização da estimativa de custos, foram utilizadas as equações paramétricas publicadas por Sharma *et al.* (2013) e McGivney e Kawamura (2008). As equações utilizadas estão apresentadas na Tabela 2. Os dados utilizados para elaboração dos modelos foram normalizados pelos autores para os anos de 2011 e 2007, respectivamente. Considerando que os serviços na ETA Brasília foram realizados entre os anos de 2008 e 2011, não foi feita nenhuma atualização de valores adicionais, apenas a conversão monetária de Dólares norte-americanos para Reais, indicada posteriormente nos resultados.

Nenhum dos estudos possuía curvas específicas para o processo de flotação, sendo recomendado por McGivney e Kawamura (2008) a utilização das equações de clarificadores retangulares para estimativa dessa unidade. O processo de mistura rápida hidráulica também não possuía curvas específicas para estimativa de custos, logo foram utilizadas as curvas referentes a mistura rápida mecânica para fins de comparação. O armazenamento e alimentação de ácido fluossilícico não possuía equação específica, porém pela semelhança entre as operações, foi utilizada a equação do sistema de coagulante líquido para realização dessa estimativa.

Para realização das estimativas foram utilizados, quando disponíveis, os parâmetros de projeto do manual de operação da ETA Brasília. Nos casos omissos foram utilizadas informações providas pela gerência da estação.

Os resultados das estimativas realizadas foram então comparados com os custos reais da reforma, analisando o desempenho e identificando as dificuldades encontradas nos modelos utilizados.

## REFORMA DA ETA BRASÍLIA

A ETA Brasília é a estação de tratamento de água mais antiga do Distrito Federal. Inaugurada antes da própria fundação de Brasília, em 1959, já passou por diversas reformas e remodelações durante esses anos de funcionamento.

Inicialmente a ETA foi concebida para operar com um sistema clarificador Pulsator® seguido de filtros rápidos com camada simples de areia. Problemas operacionais fizeram com que a estação fosse convertida em uma estação de filtração direta, através da construção de canais sobre os tanques do sistema Pulsator®. Essa alteração foi possível pelos mananciais de captação da ETA, reservatório Santa Maria (RSM) e Torto (RT), apresentarem águas de boa qualidade, com baixa turbidez e cor durante a maior parte do ano.

**Tabela 2 – Equações Paramétricas utilizadas para estimativa de custos**

Processo	Sharma <i>et al.</i> (2013)	McGivney e Kawamura (2008)
Armazenagem/alimentação de cloro cilindros de 1-ton	$CC=3 \times 10^{-6}x^3 - 0,0158x^2 + 98,896x + 10.708$ x=Capacidade alimentação (lb/d)	$CC=5.207,41x^{0,5521}$ x=Capacidade alimentação (lb/d)
Armazenagem/alimentação de coagulante líquido	$CC=-0,0262x^2 + 299,72x + 56.640$ x=Capacidade alimentação (lb/h)	$CC=699,78x + 88.526$ x=Capacidade alimentação (gal/h)
Armazenagem/alimentação de alcalinizante	$CC=20,872x + 200.332$ x=Capacidade alimentação (lb/h)	$CC=12.985x^{0,5901}$ x=Capacidade alimentação (lb/d)
Mistura Rápida Mecanizada ( $G=900 \text{ s}^{-1}$ )	$CC=0,0002x^2 + 58,159x + 30.823$ x=Volume da câmara (ft <sup>3</sup> )	$CC=7,0814x + 33.269$ x=Volume da câmara (gal)
Floculador ( $G=80 \text{ s}^{-1}$ )	$CC=-0,0005x^2 + 29,031x + 35.457$ x=Volume da câmara (ft <sup>3</sup> )	$CC=952,902x + 177.335$ x=Volume da câmara (Mgal)
Estrutura e instalações câmara do Filtro Rápido	$CC=10^{-5}x^3 - 0,0439x^2 + 1.039x + 477.982$ x=Área superficial do filtro (ft <sup>2</sup> )	$CC=-0,0034x^2 + 575,85x + 665.305$ x=Área superficial do filtro (ft <sup>2</sup> )
Meio filtrante (camada dupla)	$CC=5986x + 21.241$ x=Vazão total da estação (mgd)	$CC=38,319x + 21.377$ x=Área superficial do filtro (ft <sup>2</sup> )
Sistema de lavagem dos filtros por bombeamento	$CC=12427x^3 - 650,05x^2 + 23.879x + 69.478$ x=Capacidade de bombeamento (gpm)	$CC=299,44x + 92.497$ x=Área superficial do filtro (ft <sup>2</sup> )
Tanque de armazenamento de água de lavagem	$CC=886,95x + 27.291$ x=Volume do tanque (gal)	$CC=5,6602x^{0,8473}$ x=Volume do tanque (gal)
Bombeamento de lodo não adensado	$CC=2 \times 10^{-6}x^3 - 0,0258x^2 + 183,11x + 94.222$ x=Capacidade de bombeamento (GPM)	-
Bombeamento de lodo adensado	$CC=0,0004x^3 - 0,7701x^2 + 514,05x + 22.988$ x=Capacidade de bombeamento (GPM)	-
Sistema de adensamento por centrífuga	$CC=0,014x^3 - 13.264x^2 + 5.877,1x + 429,5$ x=Capacidade da centrífuga (GPM)	$CC=328,03x + 751.295$ x=Capacidade da centrífuga (Gal/h)
Tanque de contato	$CC=674,24x^{0,5804}$ x=Volume do tanque (ft <sup>3</sup> )	-

Nota: CC=Custos de Construção

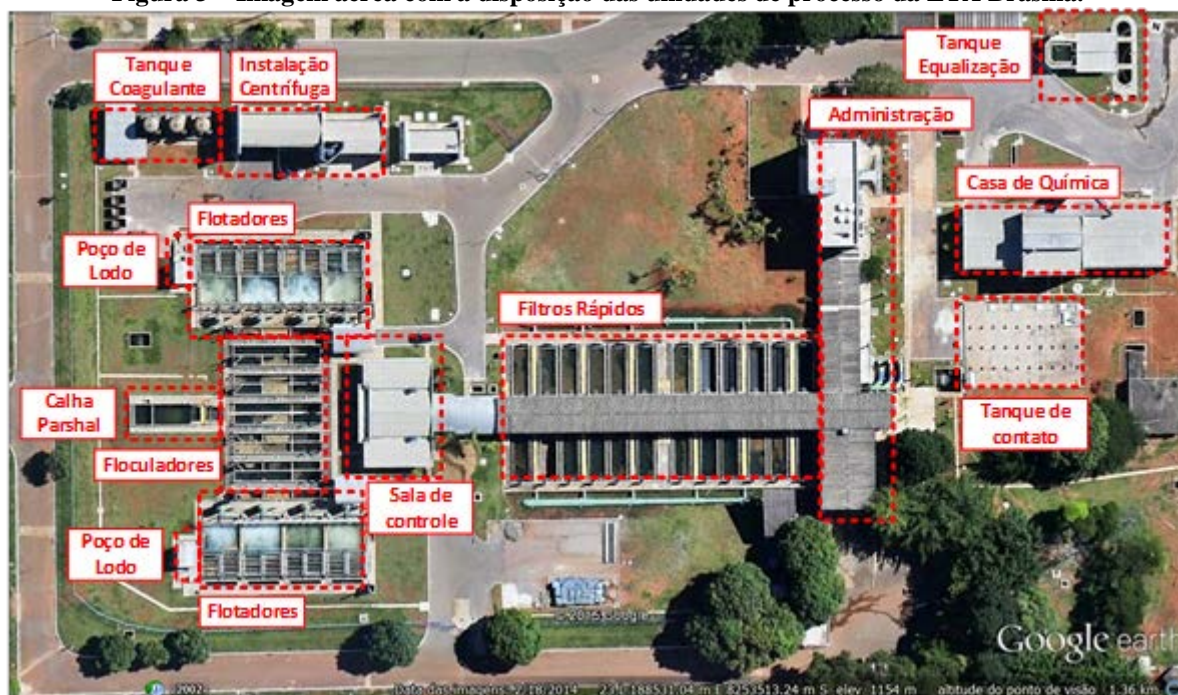
Apesar da boa qualidade média dos mananciais, episódios sazonais naturais de degradação da qualidade, especificamente com a floração de algas no RSM e o aumento da turbidez no RT, apresentavam um grande desafio a operação da estação, obrigada a operar com altas doses de coagulante, gerando por vezes o transpasse desse nos filtros e a piora da qualidade organoléptica da água produzida.



Com o intuito de solucionar esses problemas, foi concebido em meados dos anos 90 um projeto de completa remodelação da ETA Brasília, reutilizando apenas a estrutura dos filtros existentes da configuração anterior. Foi proposta a implantação de um sistema flexível de tratamento, permitindo a operação em filtração direta ou ciclo completo, dependendo das condições dos mananciais de abastecimento.

Diferente da configuração anterior, a filtração direta foi concebida para operar com uma etapa de floculação mecânica anterior aos filtros rápidos, enquanto a operação em ciclo completo utiliza flotação por ar dissolvido como etapa de clarificação. O manejo do lodo produzido nos flotadores é adensado através de um sistema de centrífuga e a água de lavagem recirculada a câmara de entrada de água bruta. Ambos modos de operação utilizam mistura rápida hidráulica e possuem um tanque de contato para desinfecção e fluoretação. O layout implantado da estação remodelada, com capacidade nominal para tratar até  $2,8 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ , pode ser observado na Figura 3.

**Figura 3 – Imagem aérea com a disposição das unidades de processo da ETA Brasília.**



### **CUSTOS DA REFORMA DA ETA BRASÍLIA**

Está apresentado na Tabela 3, como forma de exemplo, os itens de custo referentes a unidade de flotação, organizados em forma de curva ABC, para melhor identificação dos custos mais representativos do processo.

**Tabela 3 – Relação dos itens de custo atribuídos ao processo de flotação.**

Item	Descrição	Qtde.	Unid.	% Total	Acum.
EQU	Bombas de reciclo	9	unid	17,1%	17,1%
EQU	Raspador de lodo	8	unid	16,2%	33,3%
CON	Câmaras de flotação	8	comp	13,1%	46,4%
TUB	Tubos, peças e conexões	1	comp	12,8%	59,2%
EQU	Tanque de saturação	8	unid	12,0%	71,2%
EQU	Comportas Pneumáticas Pequenas	16	unid	5,6%	76,8%
ELE	Instalação Elétrica	1	comp	6,1%	82,9%
TUB	Equipamentos, Válvulas e Misc Hidráulicos	1	comp	4,7%	87,5%
ELE	Quadro elétrico	1	unid	4,4%	92,0%
EQU	Comportas Pneumáticas Grandes	8	unid	2,4%	94,3%
TUB	Materiais Instalações Processo	1	comp	1,8%	96,2%
EQU	Tanque Pulmão	2	unid	1,6%	97,8%
EQU	Compressor de ar	2	unid	1,1%	98,9%
ELE	Medidor vazão recirculação	8	unid	0,5%	99,4%
EQU	Stop Log em fibra de vidro	2	unid	0,5%	99,8%
EQU	Equipamento Flotatest	1	unid	0,2%	100,0%

EQU:Equipamentos Manufaturados; CON:Concreto e armações metálicas; EDI:Edificações; TUB:Tubulações, Válvulas e Conexões; ELE: Instalações Elétricas e Automação.

Observa-se que nessa unidade em especial, os dois itens de custos mais relevantes estão relacionados a equipamentos, as bombas de reciclo e os raspadores de lodo, responsáveis por 33,3% dos custos totais. O custo elevado das bombas de reciclo foi atribuído à necessidade desses equipamentos funcionarem sob elevadas pressões e com vazões bem controladas, para garantir a adequada saturação da água de processo. Interessante observar também que, apesar do expressivo volume de recursos investido nos raspadores de lodo, o equipamento não tem se tido resultados positivos na operação da unidade à medida que, de acordo com depoimentos dos operadores, o equipamento tem apresentado recorrentes falhas operacionais, forçando muitas vezes a retirada manual do lodo flotado pelos operadores.

Considerando as despesas totais de instalação da unidade observa-se que 56,6% desses custos são relativos equipamentos manufaturados, 19,3% à tubulações e válvulas, 13,1% referente à concreto e armações metálicas e finalmente 11% a instalações elétricas e automação, conforme apresentado na Tabela 4. Não foi prevista qualquer cobertura ou edificação de apoio para essa unidade, logo esses custos não figuraram na composição.

**Tabela 4 – Divisão dos custos da unidade de Flotação**

Grupo	Flotação
Concreto e armações metálicas	(13,1%)
Equipamentos manufaturados	(56,6%)
Tubulações e Válvulas	(19,3%)
Elétrico e Automação	(11,0%)
Edificações	(0,0%)

A avaliação completa e individualizada de todas unidades de processo da ETA Brasília pode ser obtida em outro trabalho do autor (BARRETO, 2015).

Agrupando todos os custos obtidos para as unidades obteve-se um custo total da ordem de R\$ 50 milhões de reais, representando um custo de R\$ 0,57 por metro cúbico por ano de capacidade produtiva instalada. A Filtração se mostrou como a operação unitária mais onerosa, compondo 44,5% dos custos totais de instalação. A Flotação foi o segundo processo mais dispendioso totalizando 21,7% dos custos, seguido da Mistura Rápida com 12,9%, da Floculação com 8,8%, do tanque de contato com 6,3% e enfim a unidade de desidratação de lodo com 5,7%, conforme pode ser observado na Tabela 5.

**Tabela 5 – Custos totais das unidades de processos referente a reforma da ETA Brasília**

Processo	Custos Totais
Mistura Rápida	(12,9%)
Floculação	(8,8%)
Flotação	(21,7%)
Lodo	(5,7%)
Filtro Rápido	(44,5%)
Tanque contato	(6,3%)

É importante salientar que o fato da Mistura Rápida figurar com a terceira unidade mais onerosa da estação se deve sobretudo ao fato dos custos referentes ao sistema de alcalinização terem sido atribuído a essa unidade, representando quase 90% dos seus custos totais. Essa escolha deveu-se ao fato que, apesar da cal hidratada ser aplicada ainda na chegada da água bruta, ela possui um papel fundamental na coagulação, tendo em vista o alto consumo de alcalinidade nas reações de hidrólise do coagulante. Na ETA Brasília esse papel é ainda mais preponderante à medida que os mananciais de captação possuem baixa alcalinidade natural.

Em termos das categorias de custos observou-se uma predominância de despesas relacionadas com equipamentos manufaturados, responsável por praticamente metade (49,9%) dos custos de instalação da estação, seguido de custos com tubulações e válvulas com 23,7% dos custos, concreto e armações metálicas com 13,5% dos custos, elétrico e automação com 10% e por fim as edificações sendo responsável por apenas 2,9% dos custos conforme apresentado na Tabela 6.

É importante reforçar que o presente estudo não objetivou representar todos os custos envolvidos na reforma da ETA Brasília mas apenas aqueles referentes as unidades de processo da estação.

**Tabela 6 - Composição dos custos totais da reforma da ETA Brasília.**

Grupo	Custos Totais
Concreto e armações metálicas	(13,5%)
Equipamentos	(49,9%)
Tubulações e Válvulas	(23,7%)
Elétrico e Automação	(10,0%)
Edificações	(2,9%)

## ESTIMATIVA DE CUSTO PARAMÉTRICAS

Aplicando os parâmetros de projeto da ETA Brasília nas equações paramétricas apresentadas na Tabela 2 foi possível calcular a estimativa de custo para cada unidade de processo da estação. Como exemplo, a Tabela 7 apresenta o memorial de cálculo da estimativa de custos de instalação das estruturas dos filtros rápidos realizada com a equação de Sharma *et al.* (2013).

**Tabela 7 – Memorial de cálculo da estimativa de custos das câmaras dos filtros rápidos.**

Operação	Equação	x	Xmin	Xmax	Custo Estimado
Estrutura e instalações câmara do Filtro Rápido	$CC=10^{-5}x^3-0,0439x^2+1.039x+477.982$	384,8	140	28.000	\$ 871.868,55
	$x=\text{Área superficial do filtro (ft}^2\text{)}$				R\$ 1.586.800,76

Por se tratar de publicações internacionais os custos resultantes de ambos estudos apresentavam-se em Dólares norte-americanos, convertidos a Reais utilizando a taxa de câmbio média no período de 2008 a 2011 que ficou em torno de \$1 = R\$1,84 (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2015).

Em ambos os estudos obteve-se uma faixa de valores ampla para os custos de construção estimados das unidades, com custos variando em até duas ordens de magnitudes entre as unidades de menor e maior custo.

Para o estudo de Sharma *et al.* (2013) as operações de lavagem dos filtros por bombeamento e o tanque de armazenamento de água da lavagem não puderam ser calculadas pois os parâmetros existentes na ETA Brasília não se enquadravam na faixa de valores admissíveis pelas curvas apresentadas. Os parâmetros dessas duas operações foram mais de 70x superiores aos limites máximos aceitáveis pelas equações, levantando suspeitas quanto a possíveis imprecisões da publicação sobre as unidades ou parâmetros a serem utilizados. Isso impossibilitou a avaliação dessas operações para o estudo em questão.

Para o estudo de McGivney e Kawamura (2008), não foi possível utilizar a curva do clarificador retangular e da armazenagem e alimentação de cal devido a ambos os parâmetros utilizados na ETA Brasília encontrarem-se fora das suas faixas de aplicação.

O estudo de McGivney e Kawamura (2008) não apresentou equações para estimativa do tanque de contato, logo, excepcionalmente nesse caso, foi utilizada a curva proposta por Sharma *et al.* (2013) para possibilitar a estimativa dessa unidade. Também não foram apresentadas curvas para o bombeamento de lodo não adensado, porém nesse caso, devido a participação pouco expressiva nos custos totais, decidiu-se não considerar os custos desse componente.

Em ambos os estudos a unidade de mistura rápida, foi a unidade de menores custos estimados enquanto a unidade de filtração manteve-se como a unidade com os maiores custos esperados, conforme a Tabela 8.

**Tabela 8 – Divisão dos custos totais estimados para as unidades de processos da ETA Brasília.**

Unidade	Sharma <i>et al.</i>	McGivney e Kawamura
Mistura Rápida	2%	1%
Floculação	12%	14%
Flotação	8%	-
Filtração	74%	77%
Lodo	3%	6%
Tanque Contato	2%	3%
<i>Total</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>

## COMPARAÇÃO CUSTOS REAIS COM ESTIMATIVAS PARAMÉTRICAS

Comparando os resultados obtidos durante esse trabalho podemos observar que houve uma grande heterogeneidade nos resultados das estimativas paramétricas em relação aos custos reais da ETA Brasília.

Observa-se pela Tabela 9 que, em relação aos valores aferidos da reforma da ETA Brasília, as estimativas resultaram em valores desde quase 10 vezes menores, no caso da unidade de mistura rápida para curva de Sharma *et al.*, até valores 80% superiores para a unidade de Filtro Rápido, calculadas com as curvas de McGivney e Kawamura.

**Tabela 9 – Comparação entre custos reais aferidos da reforma da ETA Brasília e custos estimados por curvas paramétricas.**

Unidade	Sharma <i>et al.</i> (2013)	McGivney e Kawamura (2008)
Mistura Rápida	13,5%	-
Floculação	137,4%	160,4%
Flotação	36,1%	-
Lodo	56,8%	112,2%
Filtro Rápido	172,3%	181,1%
Tanque contato	34,0%	46,5%
Custos Globais	104%	105%



Conforme observado na Tabela 1, curvas paramétricas são consideradas estimativas de Classe 4 de acordo com a classificação a AACE. Quando elaboradas adequadamente estas estimativas devem ser capazes de se aproximar dos valores reais de construção com uma acurácia entre -15 e -30% e +20 e +50%, logo os resultados obtidos acima da maioria dos processos não se mostrou satisfatória para realidade brasileira.

As únicas unidades de processo que se encontraram dentro dos valores esperados foram as unidades de desidratação de lodo, estimadas pelas curvas de McGivney e Kawamura, e a unidade de floculação para as curvas de Sharma *et al.*, com acurácias de +12,2% e +37,4%, respectivamente.

É importante ressaltar porém que não foi objeto do presente trabalho a validação das curvas paramétricas apresentadas, necessitando para tanto um volume de dados muito superior ao que se propões o estudo, buscando apenas uma avaliação qualitativa da sua aplicação no estudo de caso específico abordado.

Avaliando detalhadamente as curvas utilizadas para as estimativas das unidades foi possível observar algumas fontes de desvios considerados relevantes nas estimativas.

A estimativa da unidade de mistura rápida apresentou grandes desvios sobretudo pela dificuldade da curva do sistema de armazenagem/alimentação de alcalinizante em estimar os custos reais da reforma, principal item de custo da unidade.

Na unidade de flotação, a utilização da curva de clarificadores retangulares não obteve bons resultados. Em uma análise dos processos considerados, esse comportamento é de certa maneira esperado à medida que eles possuem diferenças marcantes de seus elementos construtivos, sobretudo no que se refere a utilização mais intensiva de equipamentos no processo de flotação. Essa diferença se torna evidente na Tabela 10 que apresenta a diferença entre a composição dos custos aferidos na ETA Brasília e os reportados por Sharma *et al.* na composição da curva do clarificador retangular.

**Tabela 10 – Comparação entre a distribuição de custos das curvas paramétricas para unidade de flotação com os valores encontrados na ETA Brasília.**

Operação	Estudo	A	B	C	D	E	F	G	Total
Clarificador Retangular	Sharma <i>et al.</i> (adaptado)	5%	32%	47%	14%	1%	-	-	100%
	Observado reforma	-	57%	13%	19%	11%	-	-	100%

Nota: A=Escavação e trabalhos locais; B= Equipamentos; C= Concreto; D=Aço; E= Tubulações e válvulas; F= Componentes elétricos e instrumentação; G= Edificações

Observa-se uma grande diferença no grupo de concreto e armação metálica, responsáveis pela estrutura dos flotores e sedimentadores, sendo a participação desse grupo de 47% para os clarificadores retangulares e 13% para os flotores. Observa-se também sensíveis variações nos grupos de instalações elétricas e equipamentos, com desvios de 10% e 25%, respectivamente.

As diferenças entre esses processos representam um trade-off bem presente na indústria de processos, onde se substituí aplicações com grandes requisitos de área por operações com alto nível de mecanização e menor consumo de espaço.

Com relação a unidade de filtração, a metodologia utilizada para o levantamento de custos da reforma pode ter influenciado os resultados obtidos. Como mencionado na apresentação da reforma da ETA, as estruturas antigas dos filtros foram aproveitadas no remodelamento da estação, sendo alterado apenas o meio filtrante, as estruturas de drenagem e lavagem e o sistema de automação.

Com intuito de se obter um referencial comparativo foi utilizado o orçamento da ETA Corumbá IV para obter uma estimativa dos custos construtivos dessas estruturas, fatorando os custos de acordo com o volume das câmaras. Essa aproximação pode ter prejudicado o resultado final uma vez que foi a maior fonte de desvios das estimativas dessa unidade, com custos reais somando apenas a metade dos custos estimados.

Os desvios observados para os tanques de contato foram atribuídos sobretudo ao fato que duas das três curvas utilizadas para estimativa da unidade foram adaptados de processos similar, nomeadamente a curva da

estrutura do tanque de contato e a do sistema de ácido fluossilícico, e não foram capazes de estabelecer estimativas acuradas.

Apesar dos desvios observados nas estimativas individuais das unidades, quando somados os custos totais estimados se aproximaram muito dos custos reais da reforma, com desvios de apenas 4% e 5% para as curvas de Sharma *et al.* e McGivney e Kawamura, respectivamente. Apesar dessa avaliação ser positiva, a sua consistência é questionável tendo em vista o alto nível de dispersão das estimativas componentes desse custo total.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As principais conclusões obtidas no presente trabalho foram:

- A organização dos dados referentes a reforma da ETA Brasília permitiu vislumbrar diversas informações importantes relacionadas a reforma, reforçando a importância da gestão de informações no gerenciamento de projetos.
- Os principais custos referentes a reforma dos processos da ETA Brasília foram associados a compra de equipamentos manufaturados, reforçando a importância de uma especial atenção no dimensionamento desses itens de projeto.
- As curvas paramétricas, caso devidamente ajustadas a realidade nacional, podem servir como poderosas ferramentas de estimativa de custo.
- Existe uma grande escassez de trabalhos nacionais sobre o tema de estimativas paramétricas, sendo a utilização de modelos estrangeiros, com parâmetros não ajustados para realidade brasileira, de sustentação metodológica questionável.
- A documentação das curvas de custo, com a descrição dos itens de custo envolvidos nas estimativas, é essencial para a adequada utilização dessas ferramentas.
- A aplicação dos modelos de custos a realidade da ETA Brasília permitiu a identificação de diversos pontos de reflexão importantes, que necessitam uma investigação mais aprofundada para serem esclarecidos adequadamente.
- Não foi possível observar qualquer tendência referente a características de processos e a performance obtida nas estimativas. Levanta-se a hipótese que grande parte da dispersão dos resultados encontrados esteja relacionada a diferenças culturais, não avaliadas no presente trabalho, relativas as práticas construtivas utilizadas nos dois países.
- De uma maneira geral as curvas avaliadas não se adequaram à Classe 2 de estimativas conforme preconizado pela AACE, sendo necessárias adaptações para uma aplicação adequada a realidade brasileira.

Face as dificuldades encontradas durante a elaboração do presente trabalho e a importância do tema abordado recomenda-se que um maior esforço seja dedicado ao tema com intuito de:

- Reunir informações confiáveis e com nível de detalhamento suficiente para o desenvolvimento de uma base de dados sobre custos em estações de tratamento de água.
- Ampliar a discussão nacional sobre indicadores que permitam a conversão de custos construtivos e de mão de obra internacionais para a realidade brasileira.
- Desenvolver metodologias de estimativa de custos para processos em estações de tratamento de água que permitam a orientação durante a fase de concepção de projetos.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem a todos que colaboraram com o trabalho, em especial aos funcionários da ETA Brasília (Superintendência de Produção de Água da Caesb) que forneceram detalhes importantes sobre a operação da Estação, sempre com muita gentileza e presteza, que não poderiam ter sido obtidos por outros meios e à Superintendência de Obras da Caesb pela disponibilização dos dados para a realização do trabalho. Agradecemos também aos Engenheiros Klaus Dieter Neder e Marcos Antônio dos Santos Mello, da Caesb, pela revisão do trabalho

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. AACE INTERNATIONAL. Skills & Knowledge of Cost Engineering. AACE® International – The Association for the Advancement of Cost Engineering, 471 p., 2004.
2. AACE INTERNATIONAL. Cost Estimate Classification System – An Applied Engineering, Procurement, and Construction for the Process Industries. AACE recommended practices Nº18R-97. 11p, 2011.
3. BARRETO, M.R. Metodologias de estimativas de custo aplicadas a estações de tratamento de água - Estudo de caso da reforma da ETA Brasília. Monografia de Projeto Final em Engenharia Ambiental, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 91 p., 2015.
4. BANCO CENTRAL DO BRASIL. Taxas de Câmbio. Disponível em: <http://www4.bcb.gov.br/pec/taxas/port/ptaxnpesq.asp?id=txcotacao>. Acesso em: 15/04/2015.
5. MCGIVNEY, W. T.; KAWAMURA, S. Cost Estimating Manual for Water Treatment Facilities. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, E.U.A., 197 p., 2008.
6. SHARMA, J. R.; NAJAFI, M.; QASIM, S. R. "Preliminary Cost Estimation Models for Construction, Operation, and Maintenance of Water Treatment Plants." Journal of Infrastructure Systems, (19), 451-464, 2013.
7. OLIVEIRA, G.; SCAZUFKA, P.; MARCATO, F. S. Cenários e Condições para a Universalização do Saneamento no Brasil – Parte 1. Informações FIPE, (364), 18-24, 2011.
8. GUNNERMAN, R. C.; CULP, R. L.; HANSEN, S. P. Estimation Water Treatment Costs. USEPA Report, 946p, 1979.
9. OKUN, D. A.; SHULTZ, C. A. Surface Water Treatment for Communities in Developing Countries. WASH Technical Report Nº29, 499p, 1984.
10. QASIM, S. R.; LIM, S. W.; MOTLEY, E. M.; HEUNG, K. G. (1992). Estimating Costs for Treatment Plant Construction. Journal of the American Water Works Association, 84(8), 56-62.
11. USEPA (2010). Modeling the Cost of Infrastructure. Drinking Water Infrastructure Needs Survey and Assessment, 107p, 2007.