

AVALIAÇÃO DE CUSTOS DE TRATAMENTO E DE REUSO DE EFLUENTES POR LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO NO ESTADO DO CEARÁ

Cláudio Pacheco Barbosa¹, José Carlos de Araújo² e Cláudia Beghini Rodrigues Abreu¹

Resumo - O tratamento de efluentes através de lagoas de estabilização pode contribuir favoravelmente para uma política sustentável de gestão dos recursos hídricos sob dois aspectos: redução de impactos ambientais e possibilidade de reuso. O trabalho objetiva avaliar os custos unitários, para o Ceará, de operação e manutenção (O&M) e de recuperação de capital tanto para o tratamento quanto para o reuso, vistos separadamente. Baseados em levantamento de 13 projetos distribuídos em todo o Estado, encontram-se equações de regressão entre custos e população servida com altas correlações lineares entre dados medidos e calculados ($R = 0,95$ para custos O&M; e $R = 0,78$ para custos de capital). Vistos isoladamente, os custos de tratamento e de reuso são bem superiores àqueles correspondentes à água bruta. No entanto, o custo conjunto de tratamento e reuso por lagos de estabilização é da mesma ordem de grandeza daqueles.

Abstract - Wastewater treatment by means of stabilization ponds might contribute significantly for a sustainable water policy in Ceará, Brazilian Semi-Arid, under two main aspects: reduction of environmental impacts and possibility of water reuse. The aim of this research is to assess unit operation / maintenance (O&M) as well as capital costs for both treatment and reuse purposes in the State of Ceará. Based on data of 13 stabilization ponds projects spatially distributed in Ceará, regression equations are found relating costs and the respective populations, which vary from 512 to 28,300 inhabitants. High linear correlation is found between measured and computed values ($R = 0,95$ for O&M costs; and $R = 0,78$ for capital costs). Although each individual cost is much higher than similar costs for bulk water, joint costs of treatment and reuse for stabilization ponds are very similar to bulk water's.

Palavras-Chave – Custos, reuso, lagoa de estabilização

¹Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Campus do Pici, Caixa Postal 6018, 60451-970, Fortaleza, Ce Tel. (085) 288.9623 – Fax (085) 288.9627 – E-mail: cpbcpb@hotmail.com, bolsista FUNCAP

² Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, UFC, Campus do Pici, Caixa Postal 6018, 60451-970, Fortaleza, Ce, Tel (085) 288.9623 – Fax (085) 288.9627 – E-mail: jcaraujo@ufc.br, **beneficiário CNPq**

¹ Bolsista CNPq, Programa WAVES, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, UFC

INTRODUÇÃO

A grande maioria das cidades cearenses utilizam os corpos hídricos para dar destinação final dos seus efluentes, raramente tratados, acarretando degradação ambiental. Estudos realizados apontam que o reuso planejado das águas usadas na piscicultura ou na irrigação de culturas, onde o alto padrão de qualidade da água não se faz necessário (algodão, amendoim, Capim, Sorgo, Milho, Cana-de-açúcar), pode se constituir numa solução viável para preservação do meio ambiente e contribuir para o desenvolvimento econômico das regiões.

Devido ao baixo custo da terra e ao clima favorável no Ceará, assim como à alta eficiência das lagoas de estabilização na remoção de coliformes fecais, metais pesados e nutrientes, este tratamento se constitui em boa solução tanto sob o aspecto técnico quanto sob o aspecto econômico.

A presente pesquisa tem como objetivo a avaliação de custos de tratamento e de reuso de efluentes no Estado do Ceará. Uma verificação dos custos unitários de operação e manutenção (O&M) e de investimento de lagoas de estabilização é realizada, tendo como variável a população servida. Para o cálculo dos custos de tratamento de efluentes, é considerada a vazão do esgoto na entrada da lagoa de estabilização enquanto que para o cálculo dos custos de reuso considera-se a vazão na saída da lagoa, incluindo-se aí perdas por evaporação.

Revisão bibliográfica

Segundo Arthur (*apud* Nogueira, 1999), as lagoas de estabilização constituem no método preferido de tratamento de esgotos em climas quentes, sempre que se disponha de área a um custo razoável. A simplicidade e eficiência do processo de tratamento de esgotos por lagoas de estabilização, seu baixo custo de construção e operação, também são fatores preponderantes para tal preferência. A capacidade de resistência a choques de sobrecargas orgânicas ou hidráulicas e a flexibilidade para elevação do grau de tratamento são outros fatores positivos para se implantar tal sistema de tratamento (Andrade Neto *apud* Nogueira, 1999).

Conforme Uehara e Vidal (1989), as lagoas de estabilização podem ser definidas como um corpo hídrico estável, planejado e construído com a finalidade de armazenar resíduos líquidos de natureza orgânica – esgoto sanitário bruto e sedimentar, despejos industriais orgânicos e oxidáveis ou águas residuárias oxidadas.

Bezerra (1997) indica algumas razões para se adotar o reuso de efluentes no Ceará, por tratar-se de sistema de baixo custo, fácil operação e grande eficiência. O aumento da massa verde na época de estiagem, aumenta consigo a fixação da terra, evitando assim, o transporte de sedimentos nos rios. Os resíduos orgânicos são fontes riquíssimas de matéria orgânica e nutrientes minerais, podendo ser utilizados no incremento de produtividade da lavoura. Assim, o esgoto bruto pode não ser lançado nos rios, mas reusado. Isto garantiria uma melhor qualidade ambiental e a possibilidade de

reembolso na venda das colheitas pelos agricultores, contribuindo para o crescimento econômico das regiões.

Por exemplo, para população de 100.000 habitantes, com a contribuição per capita de 100 L/dia, poderíamos irrigar 216 ha de amendoim a cada 130 dias; ou 225 ha de cana-de-açúcar a cada 450 dias; ou 146 ha de milho a cada 95 dias; ou 200 ha de soja a cada 115 dias; ou 165 ha de algodão a cada 165 dias (Bezerra, 1989).

Para obtenção de valores médios de custos de operação e manutenção e de investimentos de lagoas de estabilização no Estado do Ceará, foi realizada pesquisa em projetos de esgotamento sanitário de 13 cidades cearenses (Tabela 1). A seleção das cidades foi realizada procurando abranger todas as regiões hidrográficas de planejamento do Estado, além de uma significativa variação do contingente populacional. Todos os valores obtidos nos projetos foram convertidos para moeda corrente em dezembro/ 1998, tendo como índice de conversão o INCC (Índice Nacional da Construção Civil).

Tabela 1 - Projetos selecionados para o estudo de tratamento e reuso de efluentes no Ceará

| Cidade | Bacia Hidrográfica | População | |
|--------------|--------------------|-----------|--------|
| | | 1997 | 2017 |
| Jaguaretama | Médio Jaguaribe | 7.278 | 13.399 |
| Mons. Tabosa | Banabuiú | 5.992 | 11.045 |
| Cariré | Acaraú | 4.248 | 7.165 |
| Martinópolis | Coreaú | 7.500 | 11.000 |
| Barbalha | Salgado | 28.323 | 56.684 |
| Marinheiro | Litoral | 512 | 1.122 |
| Tauá | Alto Jaguaribe | 23.466 | 46.965 |
| Aquiraz | Metropolitana | 18.976 | 37.978 |
| São Gonçalo | Metropolitana | 5.290 | 9.554 |
| Baleia | Litoral | 962 | 1.655 |
| Guaiuba | Metropolitana | 7.969 | 15.949 |
| Lagoinha | Curu | 1.538 | 3.306 |
| Novo Oriente | Parnaíba | 12.000 | 22.000 |

CUSTOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

Segundo Uehara e Vidal (1989), para se atender aos objetivos de um tratamento de esgotos, é necessário executar eficientemente as atividades de inspeção, operação, manutenção e avaliação de desempenho. Um controle adequado do processo envolve o conhecimento das composições qualitativa e quantitativa do esgoto afluente, um certo domínio dos fenômenos que ocorrem nesse ambiente, além da caracterização do efluente do sistema.

Custos anuais de operação e manutenção

O número de pessoas necessárias para realizar um controle adequado das lagoas de estabilização depende, fundamentalmente, do porte da instalação e do número de células que compõem o sistema. Não existe uma regra absoluta para quantificar o número de operários necessários ao bom funcionamento desses sistemas. O dimensionamento dos funcionários nas lagoas de estabilização baseou-se em estudo realizado na Índia em 41 estações de tratamento constituídas por lagoas de estabilização (Uehara e Vidal, 1989).

Tabela 2 - Dimensionamento de pessoal empregado em lagoas de estabilização

| População servida por lagoa de estabilização | Pessoal | |
|--|------------|-----------|
| | Supervisor | Ajudantes |
| 5.000 | - | 2 |
| 10.000 | - | 3 |
| 20.000 | - | 4 |
| 30.000 | - | 5 |
| 40.000 | - | 6 |
| 50.000 | 1 | 6 |
| 100.000 | 1 | 8 |
| 200.000 | 1 | 8 |

Fonte: modificado de UEHARA e VIDAL (1989)

Tabela 3 – Salário mensal de ajudantes e supervisores numa lagoa de estabilização

| Salário Mensal | |
|----------------|------------|
| Ajudantes | R\$ 130,00 |
| Supervisor | R\$ 320,00 |
| Enc. Sociais | 45% |

A partir dos dados da Tabela 2 e com os salários de supervisores e ajudantes praticados atualmente (Tabela 3), calcularam-se os custos anuais de operação e manutenção das 13 lagoas de estabilização (Tabela 4). Na coluna (a) o custo de operação (pessoal necessário) foi calculado com base nos dados de população projetada para 20 anos. Assim, as cidades são enquadradas de acordo com sua população de projeto, para que sejam realizados os cálculos de custo anual com pessoal empregado. Na coluna (b) o custo de manutenção foi calculado com base nos custos de operação, estabelecendo-se um percentual de 15% (*vide* projetos técnicos) dos mesmos. Nos custos de manutenção estão embutidos compra de materiais (pás, carrinhos-de-mão etc) para perfeita limpeza das lagoas bem como para a realização de coletas d'água para análises laboratoriais, além

do custo de energia elétrica utilizada pela estação elevatória (quando necessária). Na coluna (c) encontra-se o custo total de operação e manutenção dessas lagoas.

Tabela 4– Custos anuais de operação e manutenção de 13 lagoas de estabilização

| Cidade | Custo Operação (a) (R\$/ano) | Custo de manutenção (b) (R\$/ano) | Custo total O&M (c) (R\$/ano) |
|---------------|---|--|--|
| Jaguaretama | 6.786,00 | 1.017,90 | 7.803,90 |
| Mons. Tabosa | 6.786,00 | 1.017,90 | 7.803,90 |
| Cariré | 4.524,00 | 678,60 | 5.202,60 |
| Martinópolis | 6.786,00 | 1.017,90 | 7.803,90 |
| Barbalha | 19.140,00 | 2.871,00 | 22.011,00 |
| Marinheiro | 2.262,00 | 339,30 | 2.601,30 |
| Tauá | 13.572,00 | 2.035,80 | 15.607,80 |
| Aquiraz | 11.310,00 | 1.696,50 | 13.006,50 |
| São Gonçalo | 6.786,00 | 1.017,90 | 7.803,90 |
| Baleia | 2.262,00 | 339,30 | 2.601,30 |
| Guaiuba | 6.786,00 | 1.017,90 | 7.803,90 |
| Lagoinha | 2.262,00 | 339,30 | 2.601,30 |
| Novo Oriente | 9.048,00 | 1.357,20 | 10.405,20 |

Vazões de tratamento de efluentes

Baseando-se nas populações descritas na Tabela 1, realizou-se o cálculo das vazões iniciais e vazões de projeto (Tabela 5). Através de medições realizadas na Paraíba (Van Haandel e Letinga *apud* Nogueira, 1999), constatou-se uma vazão média per-capita de efluentes de 72 L/hab/dia. Já em experiência realizada no Ceará (Nogueira, 1999) chegou-se à taxa de 98 L/hab/dia. Adota-se nesta pesquisa vazão média per capita de 100 L/dia. A Companhia de Água e Esgoto do Ceará, através de dados operacionais, confirma vazão média de esgoto em pequenas comunidades na ordem de 100L/hab.dia.

Tabela 5 – Vazões inicial (1997) e de projeto (2017) de efluentes na entrada das ETE_s

| Cidade | Vazão Inicial 1997 | Vazão projetada 2017 |
|--------------|----------------------------|----------------------------|
| | (1.000m ³ /ano) | (1.000m ³ /ano) |
| Jaguaretama | 265,79 | 489,33 |
| Mons. Tabosa | 218,83 | 403,36 |
| Cariré | 155,14 | 261,67 |
| Martinópolis | 273,90 | 401,72 |
| Barbalha | 1.034,36 | 2.070,10 |
| Marinheiro | 18,70 | 40,98 |
| Tauá | 856,98 | 1.715,16 |
| Aquiraz | 693,00 | 1.386,96 |
| São Gonçalo | 193,19 | 348,91 |
| Baleia | 35,13 | 60,44 |
| Guaiuba | 291,03 | 582,46 |
| Lagoinha | 56,17 | 120,74 |
| Novo Oriente | 438,24 | 803,44 |

$$Q_{TR} = P * Q_{pca}$$

(1)

Onde Q_{TR} é a vazão de efluente a tratar; P a população e Q_{pca} a vazão per capita anual.

Vazões disponíveis para reuso de efluentes

O Estado do Ceará está inserido em quase toda sua totalidade no semi-árido nordestino, com insolação e déficit hídrico bastante elevados. O parâmetro taxa de evaporação é de suma importância para o dimensionamento de sistemas de lagoas de estabilização, pois este contribui para elevação do tempo de detenção hidráulica e favorece o aumento da concentração de sólidos dissolvidos, que pode interferir em sua disponibilidade para o reuso (Carvalho, 1997). Segundo Matsushita (*apud* Uehara e Vidal, 1989) é no semi-árido nordestino que ocorre o maior déficit hídrico do Brasil, com perdas de até 10% do esgoto afluente. Diante desse fato, para se avaliar os custos de reuso de efluentes, é fundamental considerar as perdas por evaporação nas lagoas de estabilização (Tabela 6). As perdas por infiltração são consideradas desprezíveis. Com os dados de precipitação média anual e evaporação média anual do tanque classe “A” por região, pôde-se avaliar as perdas por evaporação nas lagoas de estabilização e, conseqüentemente, as vazões disponíveis para reuso (Tabela 7). O déficit hídrico anual foi encontrado da seguinte forma:

$$\Delta Q = (E - P) * A_L \quad (2)$$

$$Q_{RE} = Q_{TR} - \Delta Q \quad (3)$$

onde ΔQ é o deficit hídrico; "E" a evaporação na lagoa, estimada como 85% da evaporação de tanque classe A; "P" a precipitação média anual; A_L a área da lagoa de estabilização; Q_{RE} a vazão de reuso de efluentes; e Q_{TR} a vazão de tratamento anual de efluentes.

Tabela 6 – Deficit hídrico nas 13 lagoas de estabilização

| Cidade | Precipitação | Evaporação | Deficit | Área das lagoas | Deficit hídrico |
|---------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|------------------------|--|
| | (a) mm/ano | (b) mm/ano | (c) m/ano | (d) ha | (e) (1000m³/ano) |
| Jaguaretama | 772 | 2.011 | 1,24 | 2,01 | 24,90 |
| Mons. Tabosa | 718 | 2.148 | 1,43 | 2,53 | 36,17 |
| Cariré | 918 | 1.564 | 0,65 | 2,03 | 13,11 |
| Martinópolis | 1.234 | 1.521 | 0,29 | 2,70 | 7,75 |
| Barbalha | 1.160 | 1.972 | 0,81 | 16,26 | 132,08 |
| Marinheiro | 1.289 | 1.700 | 0,41 | 0,25 | 1,04 |
| Tauá | 652 | 2.046 | 1,39 | 8,90 | 124,06 |
| Aquiraz | 1.532 | 1.540 | 0,01 | 6,34 | 0,51 |
| São Gonçalo | 989 | 1.790 | 0,80 | 3,26 | 26,16 |
| Baleia | 1.289 | 1.790 | 0,50 | 0,50 | 2,51 |
| Guaiuba | 1.373 | 1.521 | 0,15 | 4,36 | 6,46 |
| Lagoinha | 1.311 | 1.521 | 0,21 | 1,19 | 2,51 |
| Novo Oriente | 635 | 2.192 | 1,56 | 5,00 | 77,85 |

Tabela 7 – Vazões disponíveis para reuso nas ETes das cidades selecionadas

| Cidade | Vazão Inicial 1997 | Vazão projetada 2017 |
|--------------|----------------------------|----------------------------|
| | (1.000m ³ /ano) | (1.000m ³ /ano) |
| Jaguaretama | 240,89 | 464,43 |
| Mons. Tabosa | 182,66 | 367,19 |
| Cariré | 142,03 | 248,56 |
| Martinópolis | 266,15 | 393,97 |
| Barbalha | 902,28 | 1.938,02 |
| Marinheiro | 17,66 | 39,94 |
| Tauá | 732,92 | 1591,1 |
| Aquiraz | 692,49 | 1.386,45 |
| São Gonçalo | 167,03 | 322,75 |
| Baleia | 32,63 | 57,94 |
| Guaiuba | 284,57 | 576 |
| Lagoinha | 53,66 | 118,23 |
| Novo Oriente | 360,39 | 725,59 |

Custos unitários O&M

Para composição dos custos de tratamento e reuso de efluentes (Tabelas 8 e 9), levou-se em consideração os custos anuais de O&M (Tabela 4) e as vazões iniciais (1997) e de projeto (2017) (Tabelas 5 e 7).

$$C_{TR} = CA_{O\&M} / Q_{TR} \quad (4)$$

$$C_{RE} = CA_{O\&M} / Q_{RE} \quad (5)$$

Nas equações acima, C_{TR} é o custo unitário de tratamento de efluentes; C_{RE} o custo unitário de reuso de efluentes; $CA_{O\&M}$ o custo anual de operação e manutenção; Q_{TR} a vazão de efluentes para tratamento; e Q_{RE} a vazão de efluentes para reuso.

Tabela 8 – Custo unitário do tratamento de efluentes em R\$/1.000m³

| Cidade | Custo (a) (1997) (R\$/1.000m³) | Custo (c) (2017) (R\$/1.000m³) | Custo (b) médio (R\$/1.000m³) |
|---------------|--|--|---|
| Jaguaretama | 29,36 | 15,95 | 22,02 |
| Mons. Tabosa | 35,66 | 19,35 | 26,73 |
| Cariré | 33,54 | 19,88 | 26,16 |
| Martinópolis | 28,49 | 19,43 | 23,70 |
| Barbalha | 21,28 | 10,63 | 15,38 |
| Marinheiro | 139,12 | 63,48 | 96,71 |
| Tauá | 18,21 | 9,10 | 13,17 |
| Aquiraz | 18,77 | 9,38 | 13,57 |
| São Gonçalo | 40,39 | 22,37 | 30,56 |
| Baleia | 74,04 | 43,04 | 57,25 |
| Guaiuba | 26,81 | 13,40 | 19,39 |
| Lagoinha | 46,31 | 21,55 | 32,47 |
| Novo Oriente | 23,74 | 12,95 | 15,51 |

Tabela 9 – Custo unitário do reuso de efluentes em R\$/1.000m³

| Cidade | Custo (a) (1997) (R\$/1.000m³) | Custo (c) (2017) (R\$/1.000m³) | Custo (b) médio (R\$/1.000m³) |
|---------------|--|--|---|
| Jaguaretama | 32,40 | 16,80 | 23,75 |
| Mons. Tabosa | 42,72 | 21,25 | 30,68 |
| Cariré | 36,63 | 20,93 | 28,06 |
| Martinópolis | 29,32 | 19,81 | 24,28 |
| Barbalha | 24,39 | 11,36 | 17,03 |
| Marinheiro | 147,30 | 65,13 | 100,83 |
| Tauá | 21,30 | 9,81 | 14,79 |
| Aquiraz | 18,78 | 9,38 | 13,58 |
| São Gonçalo | 46,72 | 24,18 | 34,18 |
| Baleia | 79,72 | 44,90 | 60,70 |
| Guaiúba | 27,42 | 13,55 | 19,72 |
| Lagoinha | 48,48 | 22,00 | 33,58 |
| Novo Oriente | 28,87 | 14,34 | 18,01 |

Análise dos resultados dos custos O&M

Para que se possa analisar os resultados obtidos, os custos de tratamento e reuso de efluentes em lagoas de estabilização são aqui apresentados em forma de gráficos, nos quais o eixo das ordenadas apresenta os custos unitários O&M em R\$/1.000m³. Nos

gráficos, os valores medidos, as equações das curvas de regressão e os coeficientes de determinação (R^2) são relacionados com os valores médios. Considera-se final de projeto, o período de 20 anos após a construção das lagoas de estabilização.

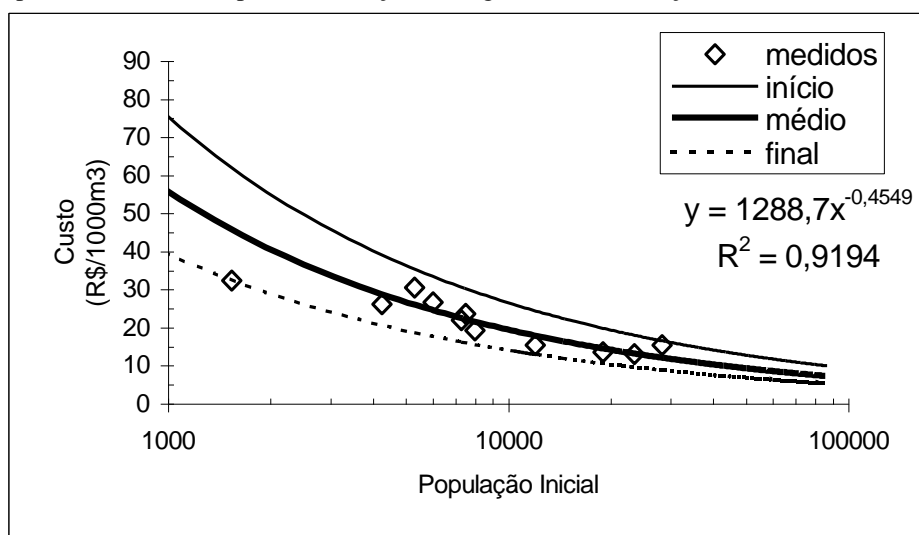


Figura 1 – Custos O&M para tratamento de efluentes em função da população inicial

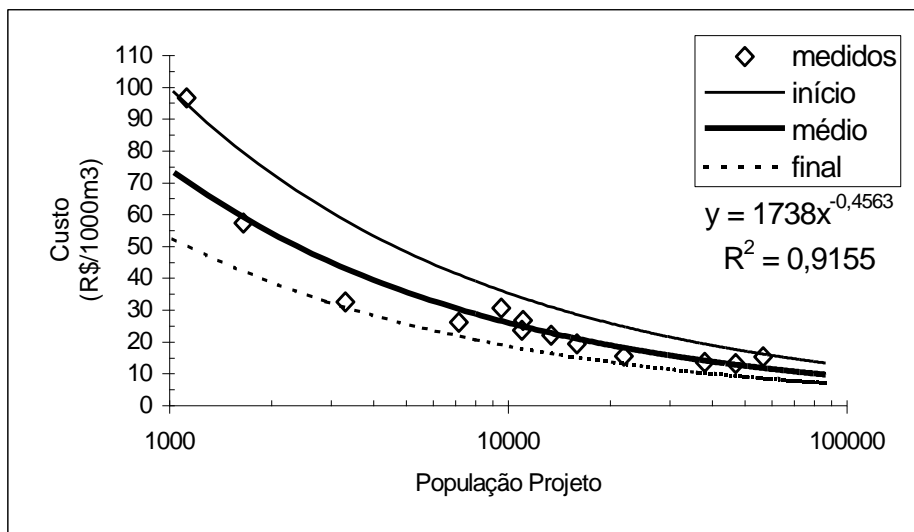


Figura 2 - Custos O&M para tratamento de efluentes em função da população de projeto

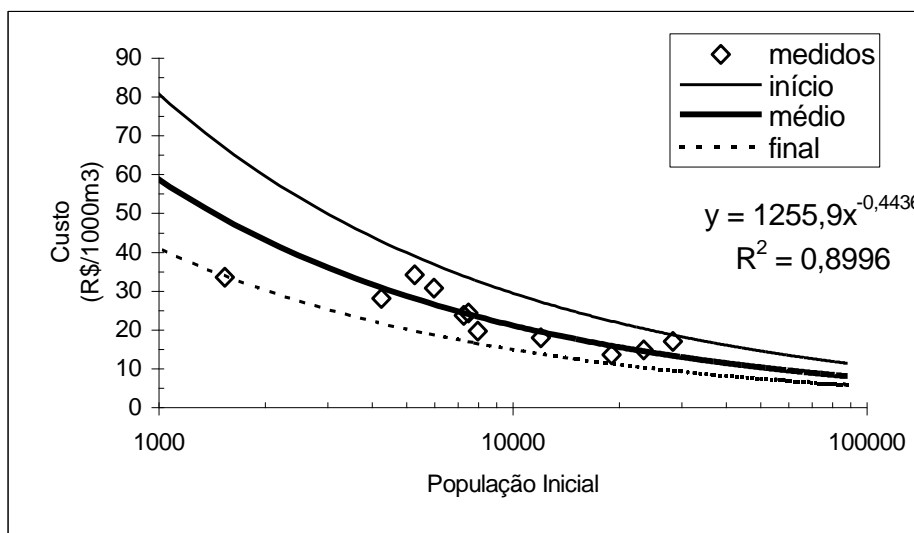


Figura 3 - Custos O&M para reúso de efluentes em função da população inicial

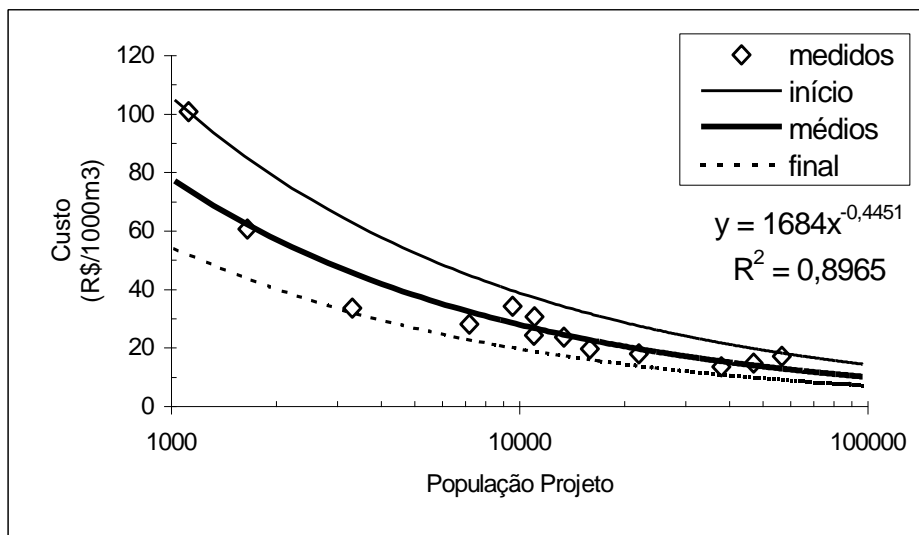


Figura 4 – Custos O&M para reuso de efluentes em função da população de projeto

Considerando que os custos O&M permanecem constantes, ano a ano, durante o período de vida útil do projeto e, levando-se em consideração o acréscimo populacional e por conseguinte o aumento da vazão, os custos unitários de tratamento e reuso de efluentes no final do período serão sempre inferiores aos custos unitários no início do projeto.

Verifica-se nos gráficos uma correlação média (R) dos dados da ordem de 0,95. Ou seja, 95% da variação total dos dados são explicados pelo emprego da equação de regressão. Nota-se também que os valores medidos médios não ultrapassam as curvas de regressão final e inicial, o que traduz assim a alta correlação dos dados.

CUSTOS DE AMORTIZAÇÃO DO INVESTIMENTO

Custos anuais de amortização do investimento

Após realização de um levantamento dos custos de investimento das estações de tratamento de esgotos de cada cidade pesquisada, organizaram-se os dados de todos os custos relativos ao tratamento e reuso de efluentes (Tabela 10). Na coluna (a) apresenta-se os custos de desapropriações. O custo do terreno em área rural variou entre 0,30 e 0,60 R\$/m². Nas áreas urbanas este custo varia de 3,00 a 4,00 R\$/m². O custo com Estações Elevatórias descritas na coluna (c) referem-se apenas àquelas onde é imprescindível o bombeamento dos resíduos líquidos para as lagoas de estabilização, sendo desconsideradas as estações elevatórias de linha. Os custos de projeto da coluna (e) foram

estimados em 5% das ETEs. Os custos extras observados nos projetos correspondem a cerca de 2% das ETEs (coluna f).

Tabela 10 – Custos de investimento das lagoas de estabilização

| Cidade | Desapropriações | Custo Emissário | Custo da E.E. | Custo da ETE | Custo do Projeto | Custos extras | Custo Total |
|---------------|------------------------|------------------------|----------------------|---------------------|-------------------------|----------------------|--------------------|
| | (a) | (b) | (c) | (d) | (e) | (f) | (g) |
| | (R\$1.000) | (R\$1.000) | (R\$1.000) | (R\$1.000) | (R\$1.000) | (R\$1.000) | (R\$1.000) |
| Jaguaretama | 12,00 | 3,89 | 194,00 | 293,00 | 14,65 | 5,86 | 523,00 |
| Mons. Tabosa | 15,18 | 9,97 | 158,00 | 565,00 | 28,27 | 11,30 | 788,00 |
| Cariré | 13,00 | 14,44 | 122,00 | 274,00 | 13,72 | 5,48 | 443,00 |
| Martinópolis | 17,35 | 11,68 | 0 | 199,00 | 9,95 | 3,98 | 242,00 |
| Barbalha | 48,14 | 5,28 | 0 | 1.492,00 | 74,62 | 29,84 | 165,00 |
| Marinheiro | 3,46 | 7,00 | 0 | 74,00 | 3,69 | 1,47 | 88,00 |
| Tauá | 30,00 | 8,86 | 204,00 | 662,00 | 33,12 | 13,25 | 952,00 |
| Aquiraz | 45,95 | 11,62 | 75,00 | 587,00 | 29,37 | 11,75 | 761,00 |
| São Gonçalo | 40,00 | 10,40 | 80,00 | 441,00 | 22,06 | 8,82 | 603,00 |
| Baleia | 4,74 | 5,28 | 25,00 | 86,00 | 4,31 | 1,72 | 127,00 |
| Guaiuba | 59,00 | 6,17 | 68,00 | 447,00 | 22,38 | 8,95 | 612,00 |
| Lagoinha | 35,00 | 8,00 | 77,00 | 255,00 | 12,74 | 5,09 | 390,00 |
| Novo Oriente | 30,00 | 9,40 | 159,00 | 276,00 | 13,81 | 5,52 | 494,00 |

Custos unitários de investimento

Para avaliação dos custos unitários de tratamento de efluentes referentes aos investimentos, fez-se a anualização dos seus custos totais (Tabela 11) a uma taxa de juros de 8%aa, ao longo dos 20 anos de vida útil do projeto.

Tabela 11 – Custos de investimentos anualizados das lagoas de estabilização

| Cidade | Custo Investimento | Custo de Investimento Anualizado |
|---------------|---------------------------|---|
| | (R\$1.000) | (R\$1.000/ano) |
| Jaguaretama | 524,00 | 53,00 |
| Mons. Tabosa | 788,00 | 80,00 |
| Cariré | 443,00 | 45,00 |
| Martinópolis | 242,00 | 24,00 |
| Barbalha | 1.650,00 | 168,00 |
| Marinheiro | 87,00 | 8,00 |
| Tauá | 952,00 | 97,00 |
| Aquiraz | 761,00 | 77,00 |
| São Gonçalo | 603,00 | 61,00 |
| Baleia | 127,00 | 13,00 |
| Guaiuba | 612,00 | 62,00 |
| Lagoinha | 390,00 | 39,00 |
| Novo Oriente | 494,00 | 50,00 |

Os custos unitários de investimento para tratamento de efluentes (Tabela 12) foram obtidos fazendo-se a divisão entre custos de investimentos anualizados (Tabela 11) e as vazões correspondentes (Tabela 5). É importante frisar que nestas vazões não estão incluídas as perdas por evaporação. Os custos médios foram obtidos fazendo-se plano de pagamento crescente, com anuidade proporcional à vazão ano a ano, com taxas de juros de 8% ao ano e pagamento em 20 anos.

Os custos unitários de investimento para reuso de efluentes (Tabela 13) foram obtidos fazendo-se a divisão entre custos de investimentos anualizados (Tabela 11) e as vazões correspondentes (Tabela 7), incluídas as perdas por evaporação. O cálculo dos custos médios se deu de forma semelhante ao dos custos de tratamento.

Tabela 12 – Custos unitários de investimento para tratamento de efluentes

| Cidade | Custo (1997) (R\$/1000m³) | Custo (2017) (R\$/1000m³) | Custo médio (R\$/1000m³) |
|---------------|---|---|--|
| Jaguaretama | 200,81 | 109,07 | 155,13 |
| Mons. Tabosa | 367,07 | 199,14 | 283,45 |
| Cariré | 291,33 | 172,73 | 233,35 |
| Martinópolis | 90,06 | 61,40 | 76,31 |
| Barbalha | 162,59 | 81,24 | 121,28 |
| Marinheiro | 478,26 | 218,24 | 343,22 |
| Tauá | 113,23 | 56,58 | 84,46 |
| Aquiraz | 112,01 | 55,97 | 83,55 |
| São Gonçalo | 318,15 | 176,16 | 247,75 |
| Baleia | 368,40 | 214,13 | 292,68 |
| Guaiuba | 214,29 | 107,07 | 159,85 |
| Lagoinha | 707,79 | 329,28 | 512,15 |
| Novo Oriente | 115,02 | 62,74 | 89,01 |

Tabela 13 – Custos unitários de investimento para reuso de efluentes

| Cidade | Custo (1997) (R\$/1.000m³) | Custo (2017) (R\$/1.000m³) | Custo médio (R\$/1.000m³) |
|---------------|--|--|---|
| Jaguaretama | 221,56 | 114,92 | 167,51 |
| Mons. Tabosa | 439,76 | 218,76 | 325,90 |
| Cariré | 318,23 | 181,84 | 250,67 |
| Martinópolis | 92,68 | 62,61 | 78,22 |
| Barbalha | 186,39 | 86,78 | 134,34 |
| Marinheiro | 506,43 | 223,92 | 357,80 |
| Tauá | 132,40 | 60,99 | 94,93 |
| Aquiraz | 112,09 | 55,99 | 83,60 |
| São Gonçalo | 367,97 | 190,43 | 277,64 |
| Baleia | 396,63 | 223,37 | 310,68 |
| Guaiuba | 219,16 | 108,27 | 162,60 |
| Lagoinha | 740,90 | 336,27 | 529,63 |
| Novo Oriente | 139,86 | 69,47 | 103,54 |

Análise dos resultados dos custos de investimento

Para que se também possa analisar os resultados obtidos, agora referentes a custos de investimento, os custos de tratamento e reuso de efluentes em lagoas de estabilização são aqui apresentados em forma de gráficos. É importante salientar que em todos os gráficos apresentados, o eixo das ordenadas apresenta os custos unitários de investimento em R\$/1.000m³. Nos gráficos, os valores medidos, as equações das curvas de regressão e os coeficientes de determinação (R²) são relacionados com a curva média. Considera-se final de projeto, o período de 20 anos após a construção das lagoas de estabilização.

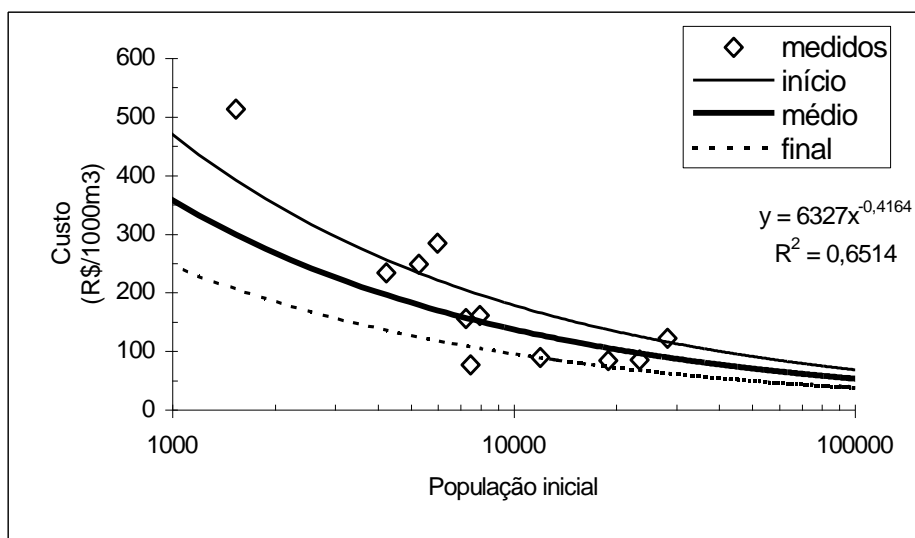


Figura 5 - Custos de investimento para tratamento de efluentes em função da população inicial

Verifica-se nos gráficos uma correlação média (R) dos dados da ordem de 0,78. Ou seja, 78% da variação total dos dados são explicados pelo emprego da equação de regressão. Nota-se agora que alguns valores medidos médios ultrapassam as curvas de regressão final e inicial, traduzindo assim uma menor correlação dos dados em relação aos custos O&M.

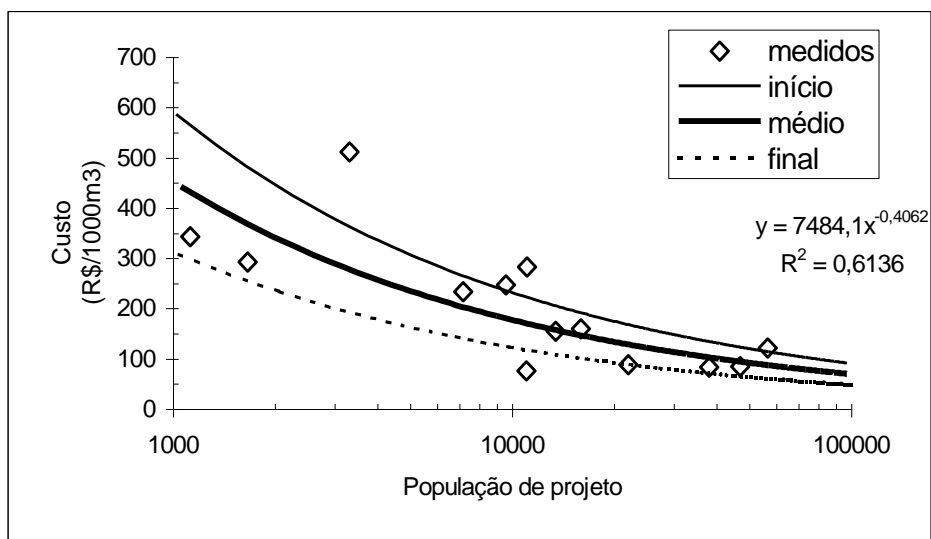


Figura 6 – Custos de investimento para tratamento de efluentes em função da população de projeto

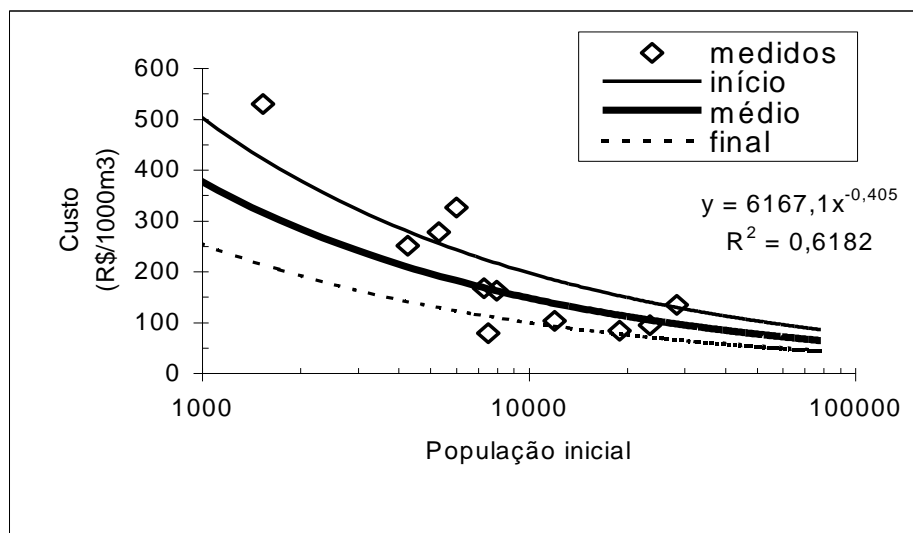


Figura 7 - Custos de investimento para reuso de efluentes em função da população inicial

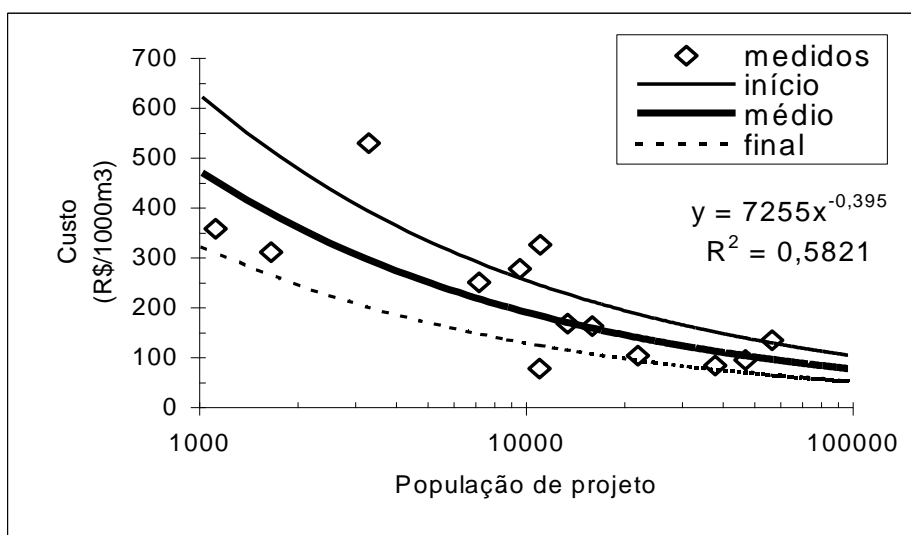


Figura 8 – Custos de investimento para reuso de efluentes em função da população de projeto

Nos projetos pesquisados, a construção de estações elevatórias não se faz necessária em pelo menos três cidades selecionadas devido às suas características topográficas. Além disso, os custos de desapropriação e emissário final (Tabela 10) apresentam baixa correlação com a população servida.

CONCLUSÕES

Através de coleta de dados de 13 projetos de esgotamento sanitário e tratamento dos efluentes por meio de lagoas de estabilização no Ceará consegue-se, neste trabalho, estimar os custos de O&M e de investimento referentes ao tratamento e ao reuso de água. Entende-se como custo unitário de *tratamento* a razão entre os custos anuais e a vazão de efluentes que chega à ETE. Define-se neste trabalho custo unitário de *reuso* como a razão entre os custos anuais e a vazão disponível para reuso a jusante da ETE, já descontadas portanto as perdas por evaporação no processo.

Considerando-se os dados levantados foram traçadas curvas de regressão (funções potenciais) de custos unitários (máximos, mínimos e médios) contra valores de população servida. As correlações encontradas são encorajadoras: em relação aos custos O&M, o coeficiente de correlação linear médio (R) foi igual a 0,95; já para a análise dos

custos de investimento, $R = 0,78$. Os custos de reuso encontrados são, em média, 7,5% superiores àqueles dos custos de tratamento.

A título de exemplo, para lagoas de estabilização no Ceará, os custos calculados pelas equações geradas são apresentados na Tabela 14 a seguir.

Tabela 14 - Síntese de custos unitários de tratamento e reuso no Ceará

| População inicial | Custos O&M (R\$/1000 m3) | | Custos investimento (R\$/1000 m3) | |
|------------------------------|-------------------------------------|--------------|--|--------------|
| | Tratamento | Reuso | Tratamento | Reuso |
| 5.000 | 27,76 | 28,71 | 182,37 | 195,88 |
| 10.000 | 19,52 | 21,11 | 136,65 | 147,94 |
| 25.000 | 12,87 | 14,06 | 93,30 | 102,07 |
| 50.000 | 9,39 | 10,34 | 69,91 | 77,09 |
| 100.000 | 6,85 | 7,60 | 52,38 | 58,22 |

Comparando-se os valores obtidos com outros custos unitários de O&M, verifica-se que o custo da água bruta outorgável nas bacias Metropolitanas é de 15,00 R\$/1000 m3 (Araújo, 1996); enquanto que na bacia do rio Jaguaribe este valor cai para 3,10 R\$/1000 m3. Quanto aos custos de investimento para água regularizável, tem-se valor médio de 57,67 R\$/1000 m3 para a bacia do rio Jaguaribe e 33,60 R\$/1000 m3 para a bacia do rio Curu (Lanna, 1995). Os altos custos de tratamento e reuso podem ser explicados pelo fato de que trazem no seu bojo *dois* benefícios: (i) a redução de impacto ambiental do despejo de efluentes; e (ii) a possibilidade de reuso da água tratada. Caso se faça análise conjunta destes benefícios, os custos unitários para as ETEs cairão praticamente ao meio. Uma lagoa de estabilização que sirva, por exemplo, a 10.000 habitantes, teria a mesma ordem de grandeza dos demais valores mencionados: custo O&M de 10 R\$/1000 m3 e custo de investimento de 71 R\$/1000 m3.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Pesquisa Científica e Tecnológica, CNPq, pelo apoio ao Projeto Nordeste (processo no. 521169/97-6 NV), assim como pela concessão de bolsa DTI à terceira autora (Programa WAVES). Agradecem também à Fundação Cearense de Amparo à Pesquisa pela concessão de bolsa ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, J.C. de (1996). Estudos de Tarifa D'água e Hidrológicos. Relatório Técnico, COGERH/CNPq, Fortaleza.
- BEZERRA, F. C. L. (1997). Reuso Planejado de Águas Residuárias em Irrigação: Uma Alternativa para o Estado do Ceará. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- CARVALHO, M. E. (1997). Avaliação do Desempenho das Lagoas de Estabilização do Sistema Integrado do Distrito Industrial (SIDI) de Maracanaú-CE, Tratando Água Residuária Composta (doméstica e industrial). Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- LANNA, A.E. (1995) Cobrança pelo Uso da Água na Bacia do Rio Curu. Relatório Técnico, COGERH, Fortaleza.
- NOGUEIRA, V. L. M. (1999). Caracterização do Sistema de Lagoas de Estabilização da Estação de Tratamento de Esgotos do Parque Fluminense, em Fortaleza, Ceará. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- UEHARA, M. Y. e VIDAL, W. L. (1989). Operação e Manutenção de Lagoas Anaeróbias e Facultativas, São Paulo, CETESB, 91p.