

The slide features a white background with several realistic water droplets of various sizes scattered across it. The droplets have soft shadows and highlights, giving them a three-dimensional appearance. They are positioned around the text, with some near the top and others near the bottom.

# **PHA 3418 – TECNOLOGIA DE SEPARAÇÃO POR MEMBRANAS PARA TRATAMENTO DE ÁGUA E EFLUENTES**

## **AULA 14 – CUSTOS DE SISTEMAS DE SEPARAÇÃO POR MEMBRANAS**

Prof.: José Carlos Mierzwa  
[mierzwa@usp.br](mailto:mierzwa@usp.br)

# CONSIDERAÇÕES GERAIS

- QUANDO SE FALA EM CUSTOS DE SISTEMAS DE SEPARAÇÃO POR MEMBRANAS DEVE-SE CONSIDERAR:
  - CUSTO DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA;
  - CUSTO DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO.
- ESTES CUSTOS VARIAM DE ACORDO COM A CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA.

# CONSIDERAÇÕES GERAIS (CONT.)

- O CUSTO DE IMPLANTAÇÃO É OBTIDO CONSIDERANDO-SE OS SEGUINTE COMPONENTES:
  - UNIDADE DE SEPARAÇÃO POR MEMBRANAS:
    - MEMBRANAS (ÁREA);
    - VASOS DE PRESSÃO OU MÓDULOS;
    - SUBSISTEMA DE LIMPEZA QUÍMICA;
    - BOMBAS;
    - TUBULAÇÕES;
    - VÁLVULAS;
    - INSTRUMENTOS.

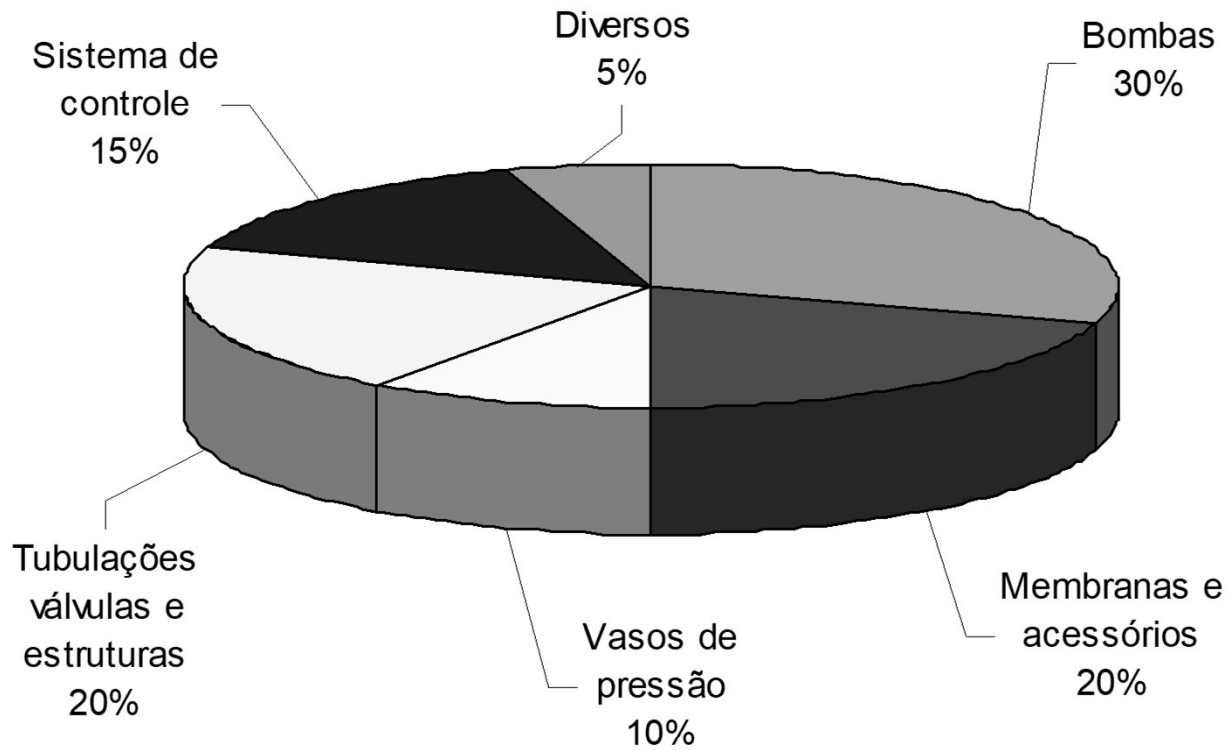
# CONSIDERAÇÕES GERAIS (CONT.)

- COMPONENTES DO SISTEMA (CONT.):
  - SUBSISTEMA DE PRÉ-TRATAMENTO;
  - TANQUES DE ARMAZENAGEM;
  - EDIFICAÇÕES;
  - SISTEMAS AUXILIARES:
    - ÁGUA;
    - ENERGIA;
    - DRENAGEM;
    - AR COMPRIMIDO.

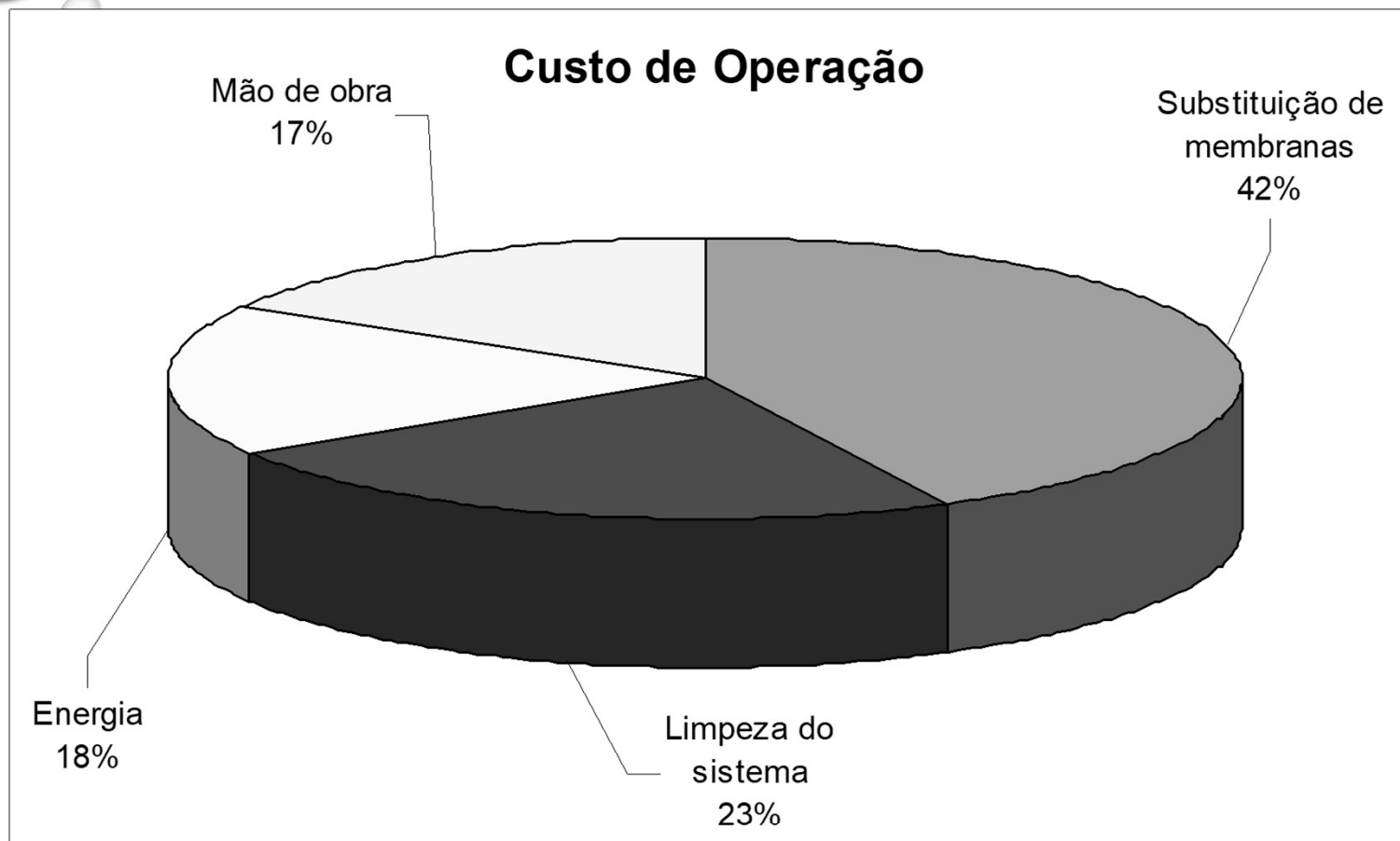
## CONSIDERAÇÕES GERAIS (CONT.)

- O CUSTO DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO É OBTIDO CONSIDERANDO-SE:
  - MÃO DE OBRA;
  - INSUMOS QUÍMICOS;
  - ENERGIA;
  - SUBSTITUIÇÃO DAS MEMBRANAS.

## Custo de Investimento



**Fonte:** Environmental technology - Best practice programme. Cost-effective membrane technologies for minimizing wastes and effluents. GG54 - Guide. UK, March 1997.



**Fonte:** Environmental technology - Best practice programme. Cost-effective membrane technologies for minimizing wastes and effluents. GG54 - Guide. UK, March 1997.

## CONSIDERAÇÕES GERAIS (CONT.)

- NA EUROPA OS PREÇOS DOS SISTEMAS SE MANTIVERAM ESTÁVEIS ENTRE O INÍCIO DA DÉCADA DE 1970 E FINAL DA DE 1980;
- NOS EUA NESTE MESMO PERÍODO OS PREÇOS SOFRERAM UMA REDUÇÃO SIGNIFICATIVA;
- COM A INTRODUÇÃO DOS MÓDULOS EM ESPIRAL O CUSTO DE SISTEMAS UTILIZADOS NA INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS CAIU DE US\$ 1.400 PARA US\$ 370 POR M<sup>2</sup>;
- NA DÉCADA DE 1990 OS PREÇOS CONTINUARAM CAINDO NOS EUA .



## CUSTOS DOS SISTEMAS NOS EUA

<b>Aplicação</b>	<b>Custo (US\$/m<sup>2</sup>)</b>
Indústria farmacêutica	200 - 300
Indústria de laticínios	150 - 250
Tratamento de água	70 - 150

Fonte: OSMONICS, 2001

Estes custos referem-se à implantação de sistemas com membranas em espiral.

# CONSIDERAÇÕES GERAIS (CONT.)

- O CUSTO FINAL DE UM SISTEMA DE SEPARAÇÃO POR MEMBRANAS É BASTANTE INFLUENCIADO:
  - PELO TIPO DE PROCESSO:
    - MF, UF, NF, OR, ED;
  - PELA CONFIGURAÇÃO DAS MEMBRANAS:
    - ENROLADA EM ESPIRAL;
    - FIBRA OCA;
    - TUBULAR;
    - PLANA.
  - PELO MATERIAL DAS MEMBRANAS:
    - POLIMÉRICO;
    - CERÂMICO.

## CONSIDERAÇÕES GERAIS (CONT.)

- O CUSTO DO SISTEMA TAMBÉM É INFLUENCIADO PELAS CARACTERÍSTICAS DA CORRENTE A SER SUBMETIDA AO TRATAMENTO;
- ISTO É MAIS EVIDENTE PARA OS SISTEMAS ONDE OCORRE A SEPARAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS DISSOLVIDAS;
- A ESCALA DE PRODUÇÃO DAS MEMBRANAS TAMBÉM É UM FATOR RELEVANTE.

# **SISTEMAS COM MEMBRANAS EM ESPIRAL**

- SÃO OS MAIS BARATOS DO MERCADO EM TERMOS DE CUSTO POR ÁREA DE MEMBRANA;
- O CUSTO DE IMPLANTAÇÃO DESSES SISTEMAS VARIA DE US\$ 300,00 A US\$ 500,00 POR M<sup>2</sup>;
- O CUSTO DE REPOSIÇÃO TAMBÉM ACABA SENDO BAIXO.

# CUSTO DE REPOSIÇÃO DE MEMBRANAS ENROLADAS EM ESPIRAL

<b>Tipo</b>	<b>Faixa (US\$/m<sup>2</sup>)</b>
OR – Filme fino	15 - 25
NF – Filme fino	20 - 40
UF – Polissulfona	25 - 50
Elementos especiais	35 - 70

Fonte: OSMONICS, 2001

## CUSTO DE REPOSIÇÃO DE MEMBRANAS ENROLADAS EM ESPIRAL

<b>Membrana</b>	<b>Fornecedor</b>	<b>Custo (US\$/m<sup>2</sup>)</b>
OR	Filmtec	32 - 42
	Hydranautics	26 - 40
NF	Filmtec	34 - 45
	Hydranautics	25 - 42
UF - PS	AMI	46 - 49
MF - PVDF	AMI	46 - 53

Adaptado de <http://www.wateranywhere.com>

Os valores apresentados baseiam-se no custo dos módulos de 8" e 4"

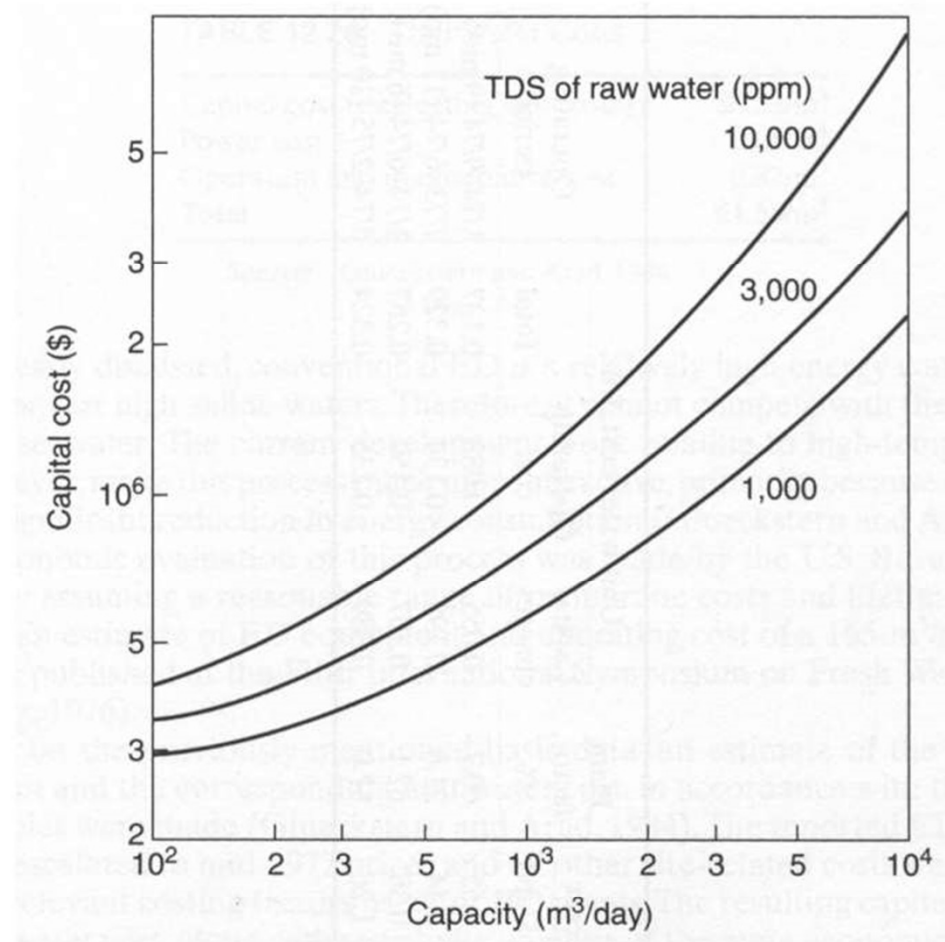
## SISTEMAS DE ELETRODIÁLISE

- POR SE TRATAR DE UMA TECNOLOGIA RECENTE, NÃO EXISTEM MUITOS DADOS DISPONÍVEIS SOBRE OS CUSTOS DESTES SISTEMAS;
- DE MODO GERAL O SISTEMA DE ED É COMPETITIVO AO DE OR, PARA CORRENTES COM ATÉ 10.000 MG/L DE SDT;
- ALÉM DISSO, DEVE-SE CONSIDERAR QUE A QUALIDADE DO PRODUTO OBTIDO TAMBÉM É LIMITADA À 200 MG/L DE SDT;

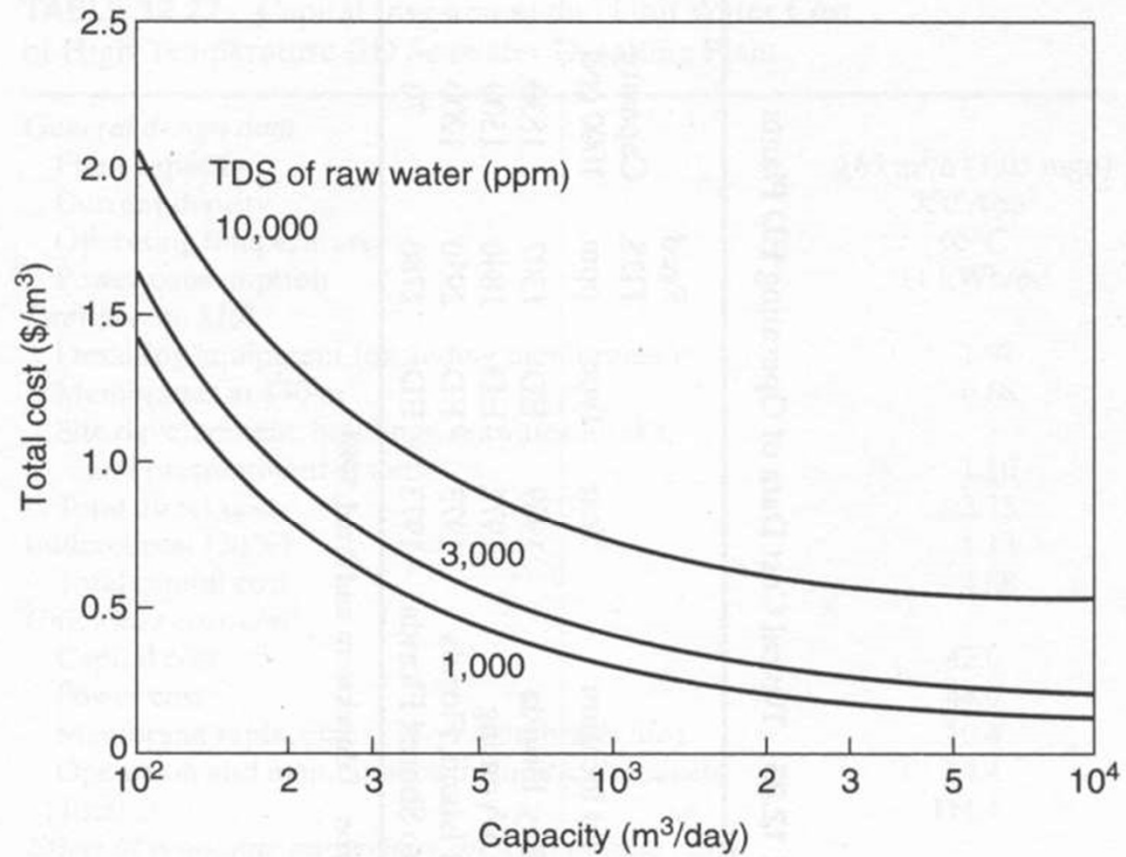
## **SISTEMAS DE ELETRODIÁLISE (CONT.)**

- O CUSTO DE INSTALAÇÃO DO SISTEMA É PROPORCIONAL À CONCENTRAÇÃO DE SAIS NA ALIMENTAÇÃO E QUALIDADE DO PRODUTO A SER OBTIDO;
- QUANTO MAIOR A CONCENTRAÇÃO NA ALIMENTAÇÃO E MELHOR A QUALIDADE DO PRODUTO UTILIZAM-SE MAIS MÓDULOS.





## Custo de Investimento em Sistemas de ED (AWWA, 1998)



**Custo de Tratamento de Água em Sistemas de ED  
(AWWA, 1998)**

## CUSTOS MEMBRANAS CERÂMICAS E POLIMÉRICAS

	<b>Polymeric UF Membrane</b>	<b>Segmented Monolith Ceramic MF Membrane</b>
Plant Daily Capacity	1 MGD (3.8 MLD)	1 MGD (3.8 MLD)
Plant Peak Flow Rate	732 gallons per minute 166 cubic meters per hour	720 gallons per minute 164 cubic meters per hour
Active Surface Area Per Module	775 square feet 72 square meters	209 square feet 19.4 square meters
Peak Flux	49 GFD (83 LMH)	249 GFD (422 LMH)
System Recovery Rate	97%	98%
Initial Capital Cost	\$400,000 USD	\$410,000 USD
Membrane Life	10 years	20 years
Membrane 20 Year Present Worth	\$85,000 USD	\$41,500 USD
Chemical Consumption 20 Year Present Worth	\$26,000 USD	\$26,000 USD
Electrical Consumption 20 Year Present Worth @ \$0.10/kwh	\$117,000 USD	\$124,000 USD
Labor 20 Year Present Worth @ \$50/hr.	\$513,000 USD	\$504,000 USD
<b>Total 20 Year Present Worth</b>	<b>\$1,141,000 USD</b>	<b>\$1,106,000 USD</b>

Fonte: <https://www.nanostone.com/new-white-papers/comparative-capital-costs-for-ceramic-and-polymeric-membranes-1>

# COMPARAÇÃO DE CUSTOS DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA

## ***Referência***

U.S. Department of Interior. Total Plant Costs for Contaminant Fact Sheets. Bureau of Reclamation Technical Service Center - Water Treatment Engineering and Research Group, D-8320. 21/09/2001.

## ***Parâmetros de Cálculo:***

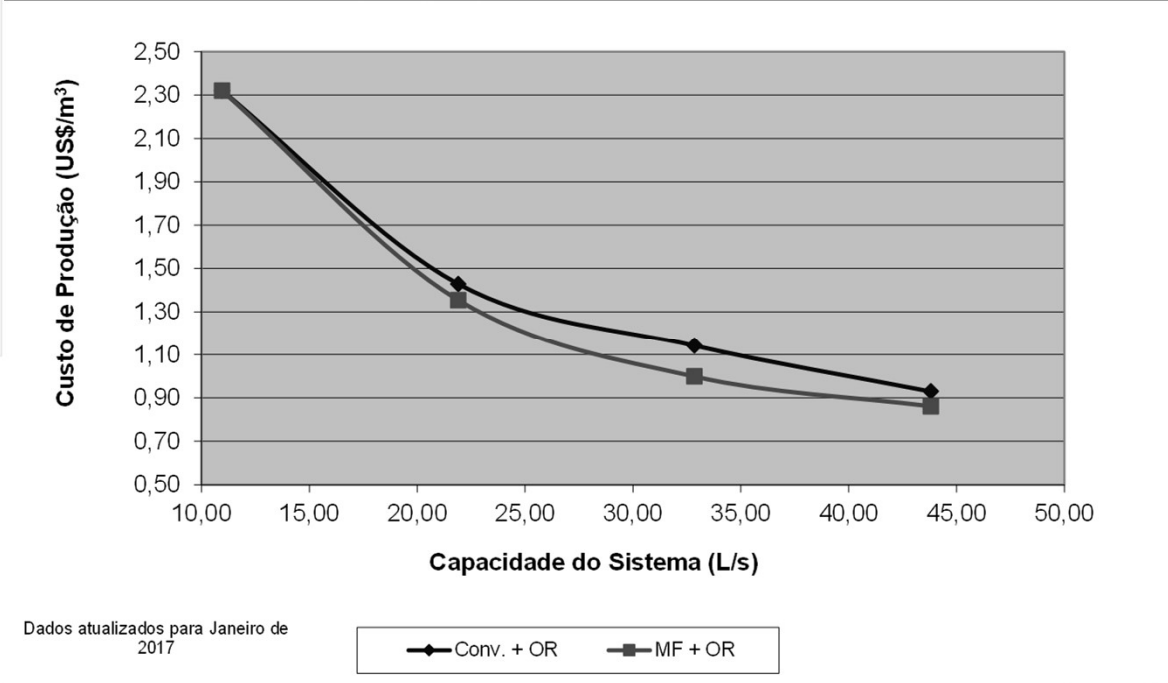
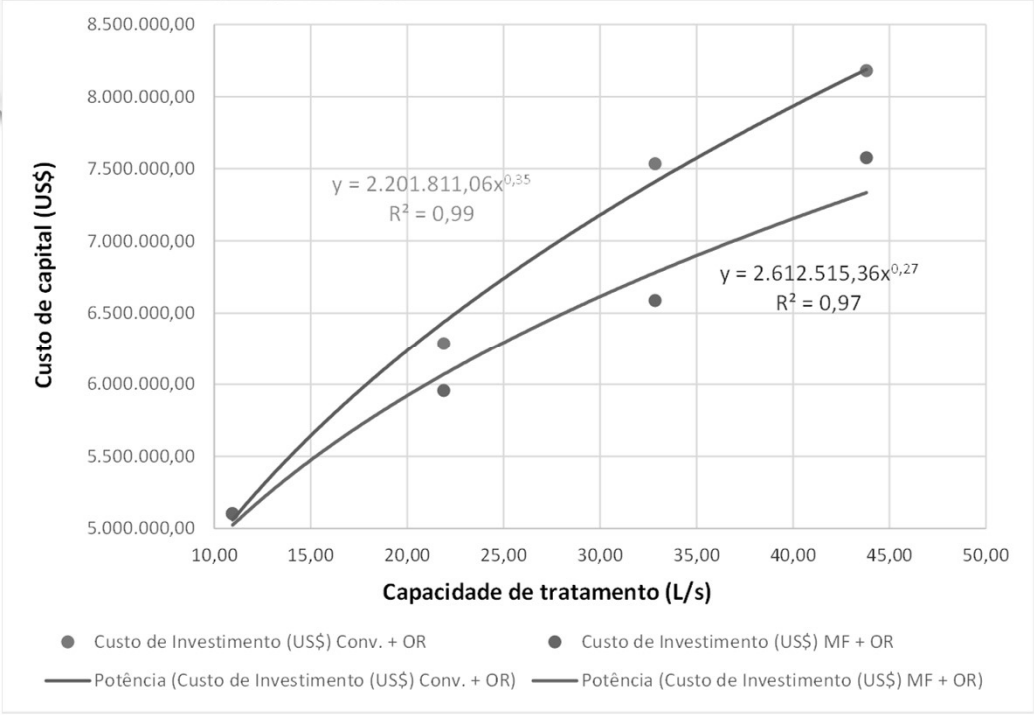
Período de retorno do investimento = 30 anos

Taxa de retorno = 3,89% a.a.

## ***Atualização dos valores:***

Consturction cost index history - McGraw-Hill - Construction

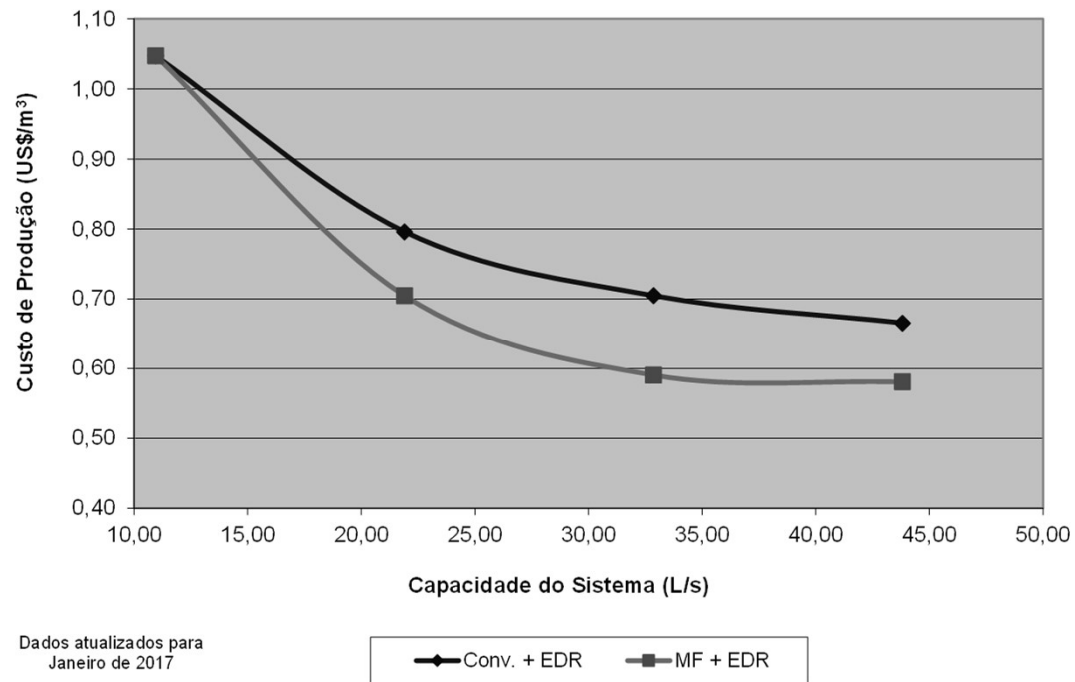
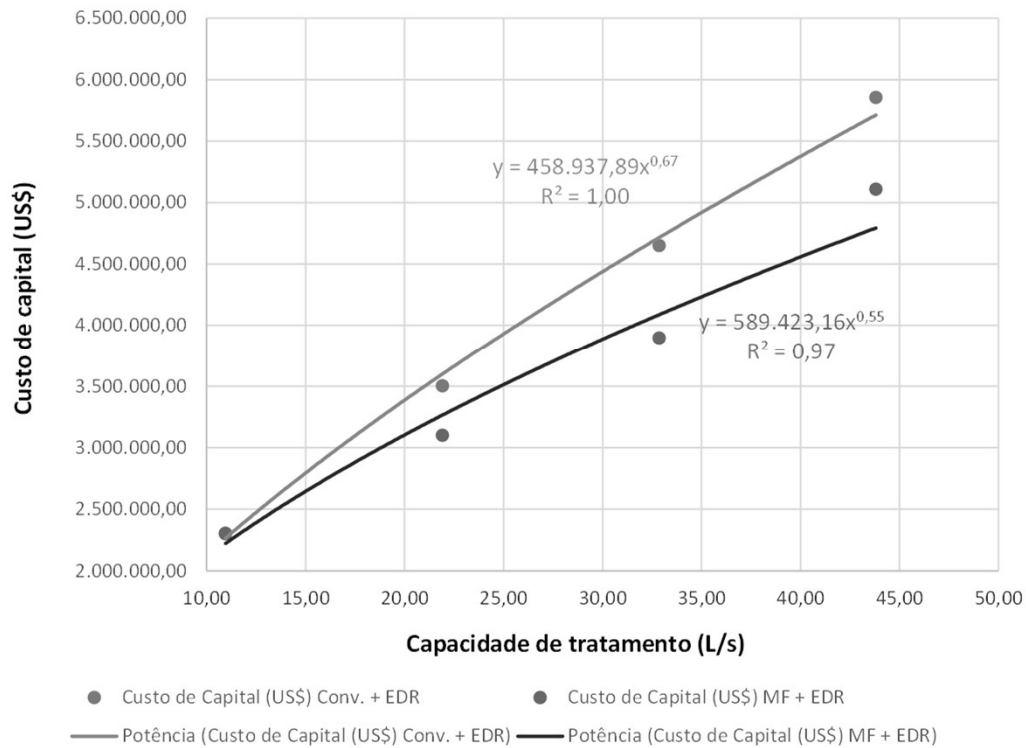
<http://www.enr.com/features/conEco/costIndexes/costIndexlList.asp>



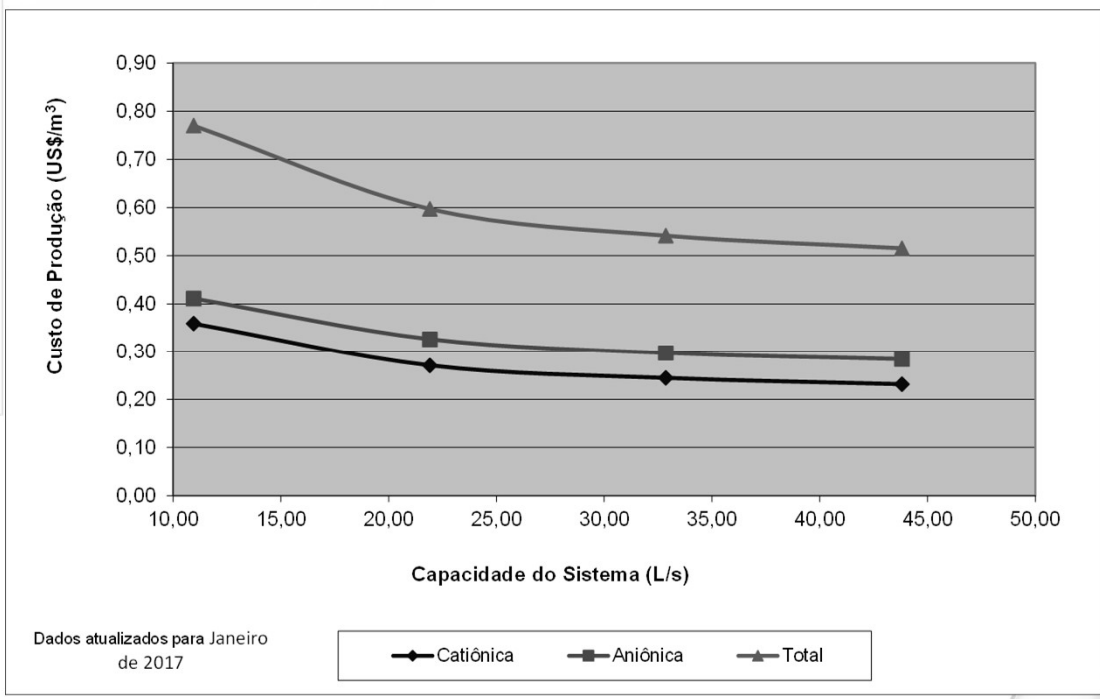
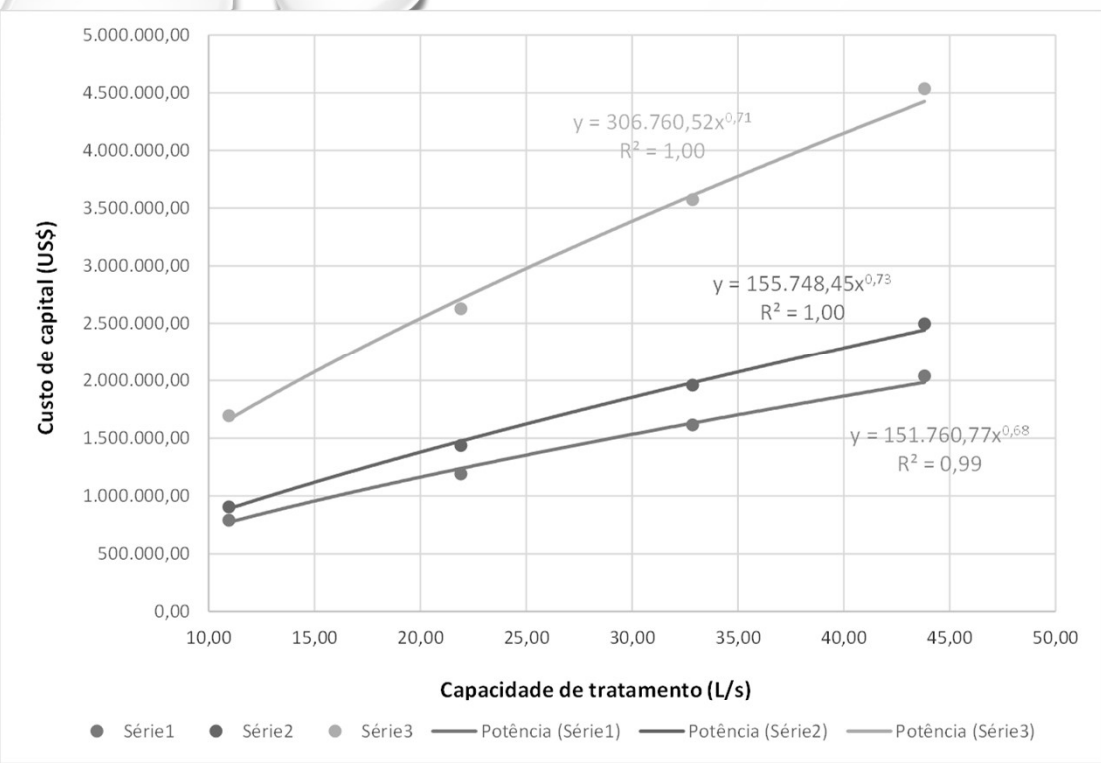
Dados atualizados para Janeiro de 2017

Conv. + OR
  MF + OR

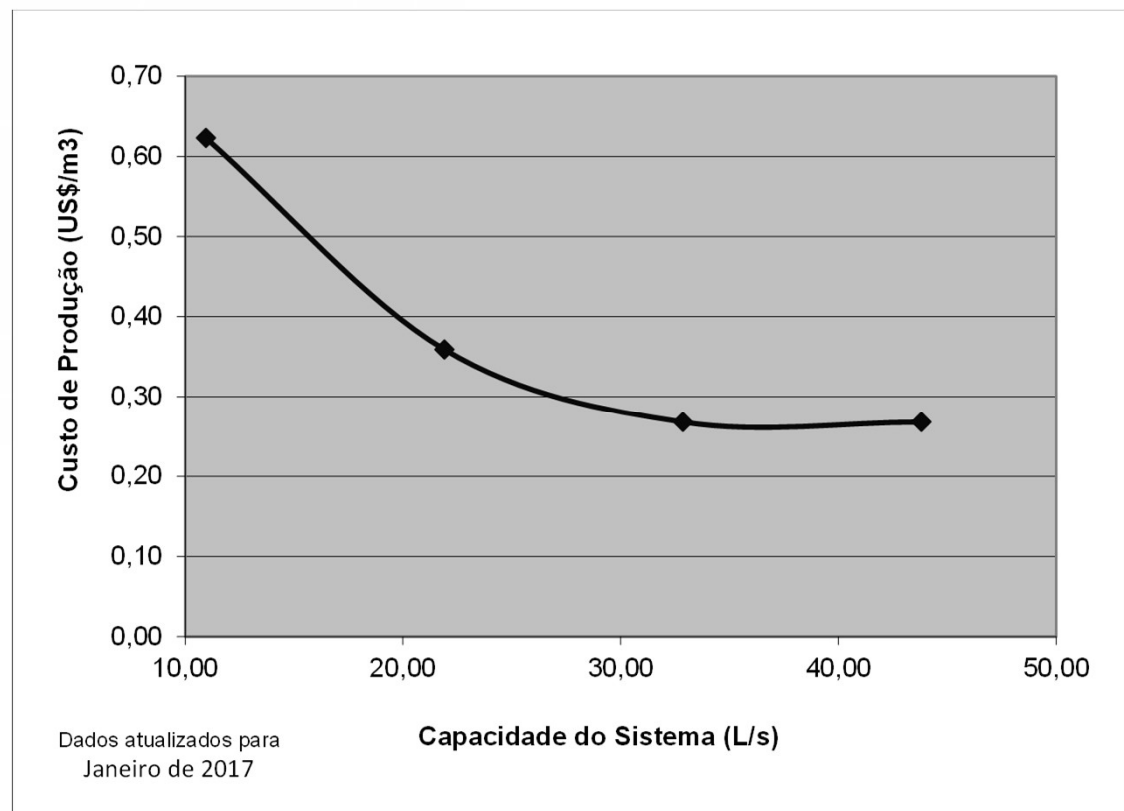
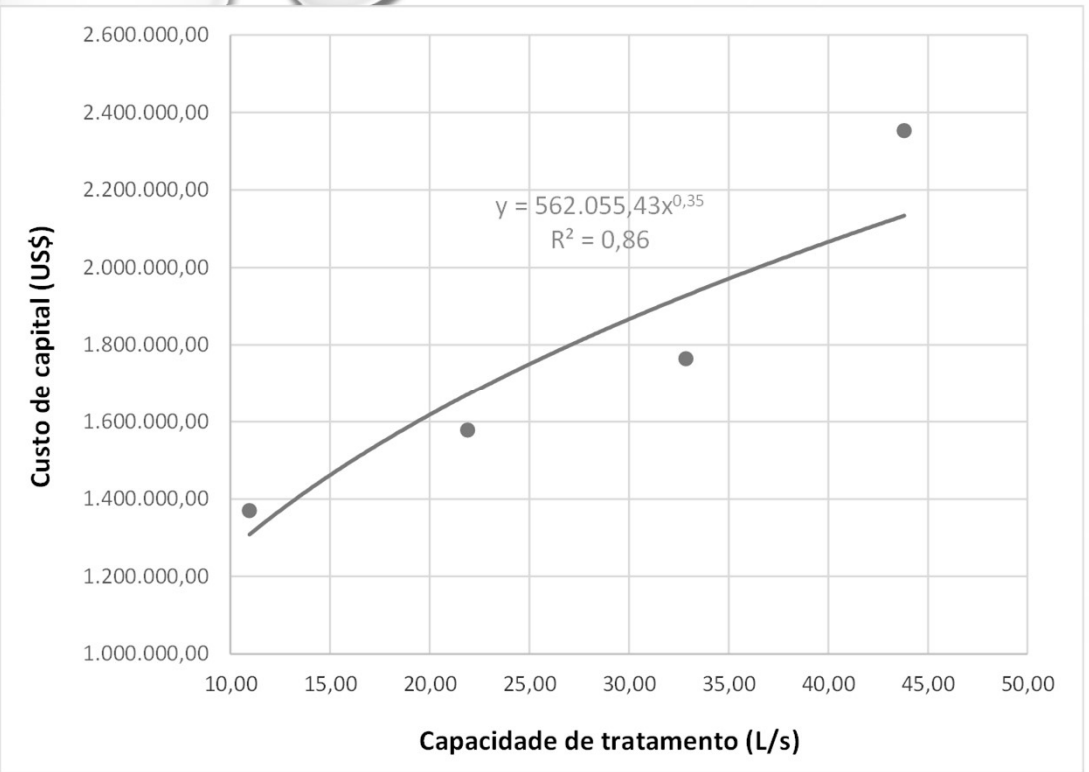
# Sistema de Osmose Reversa



## Sistema de Eletrodialise

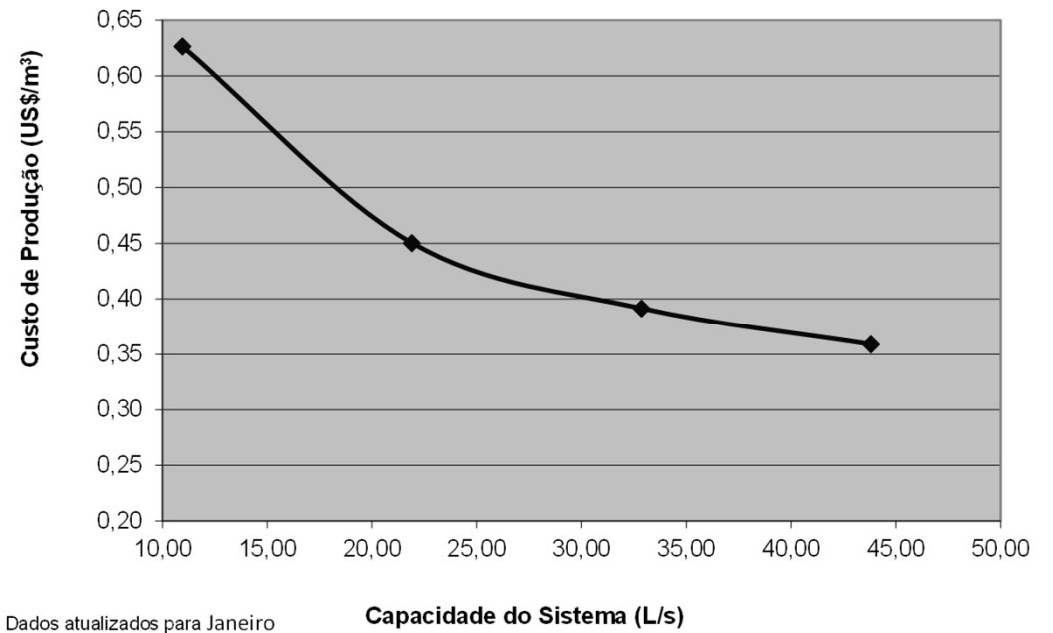
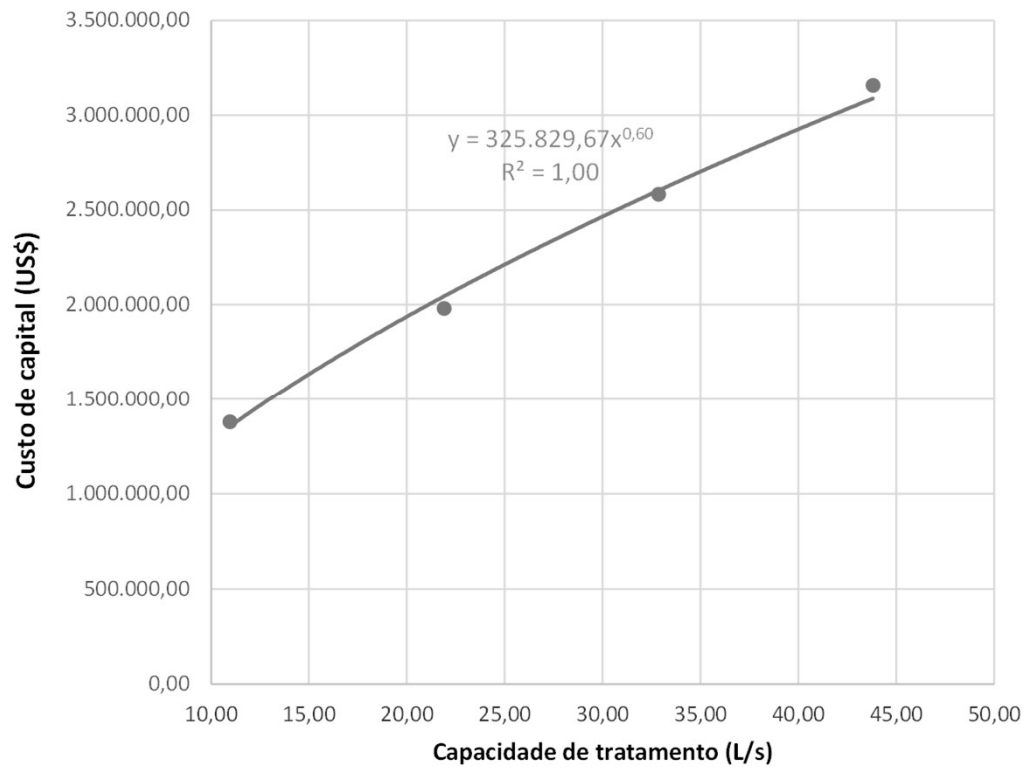


## Sistema de Troca Iônica



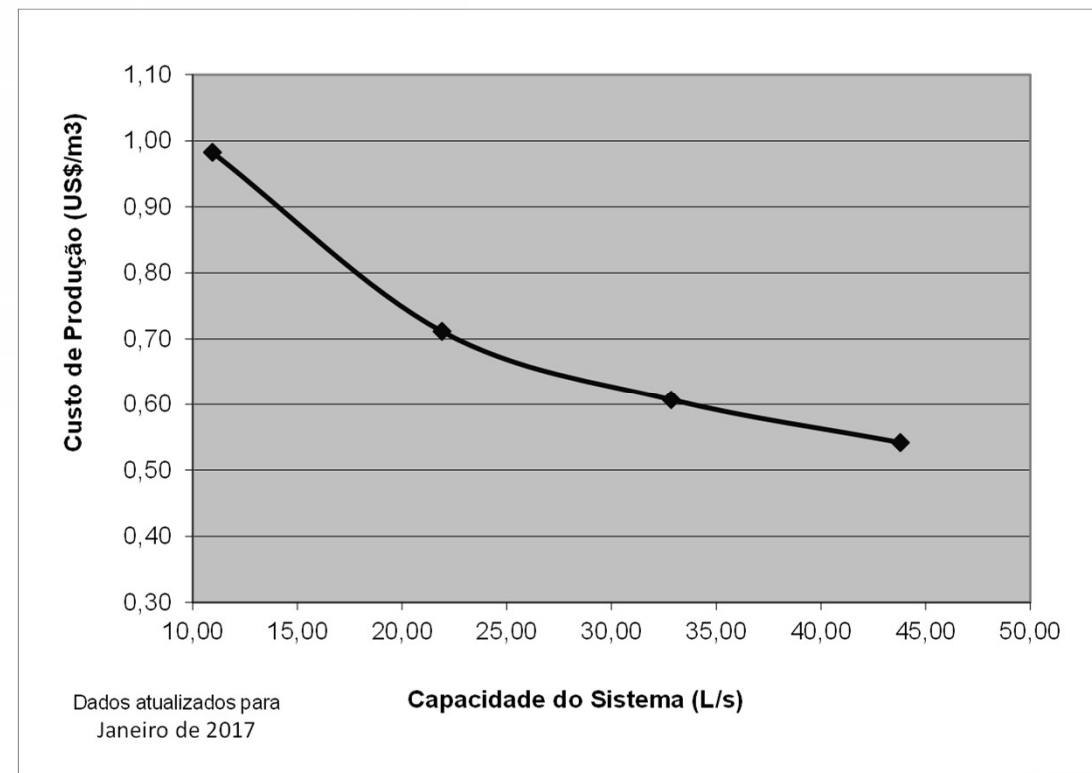
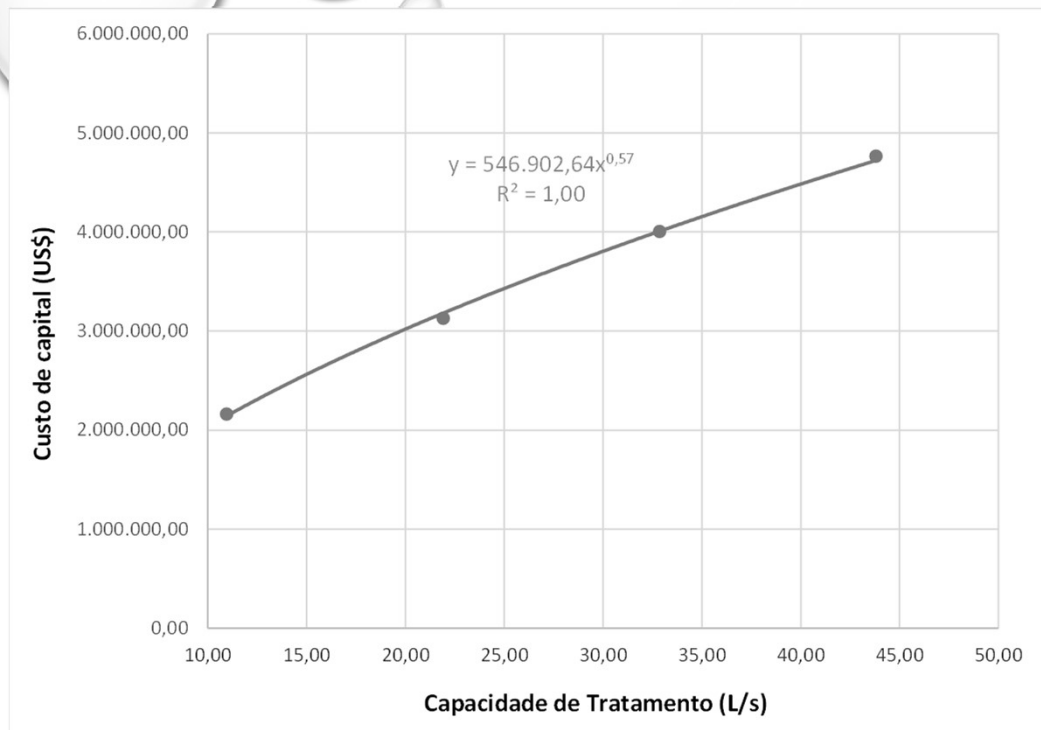
## Sistema de Microfiltração



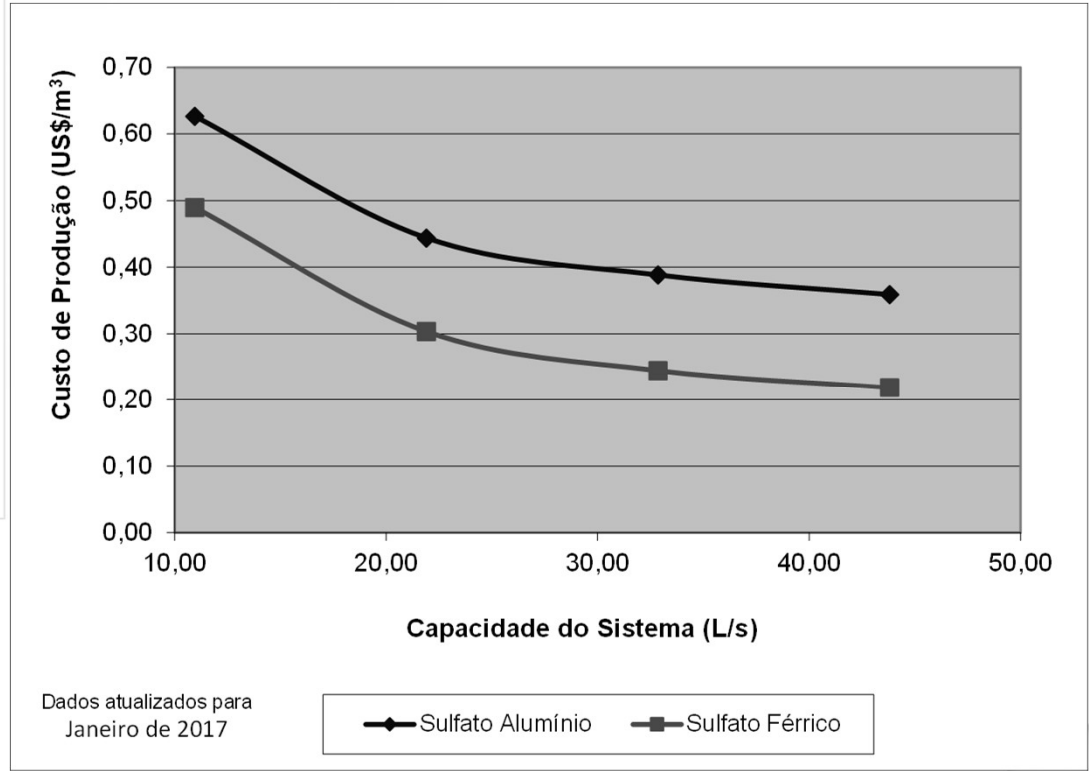
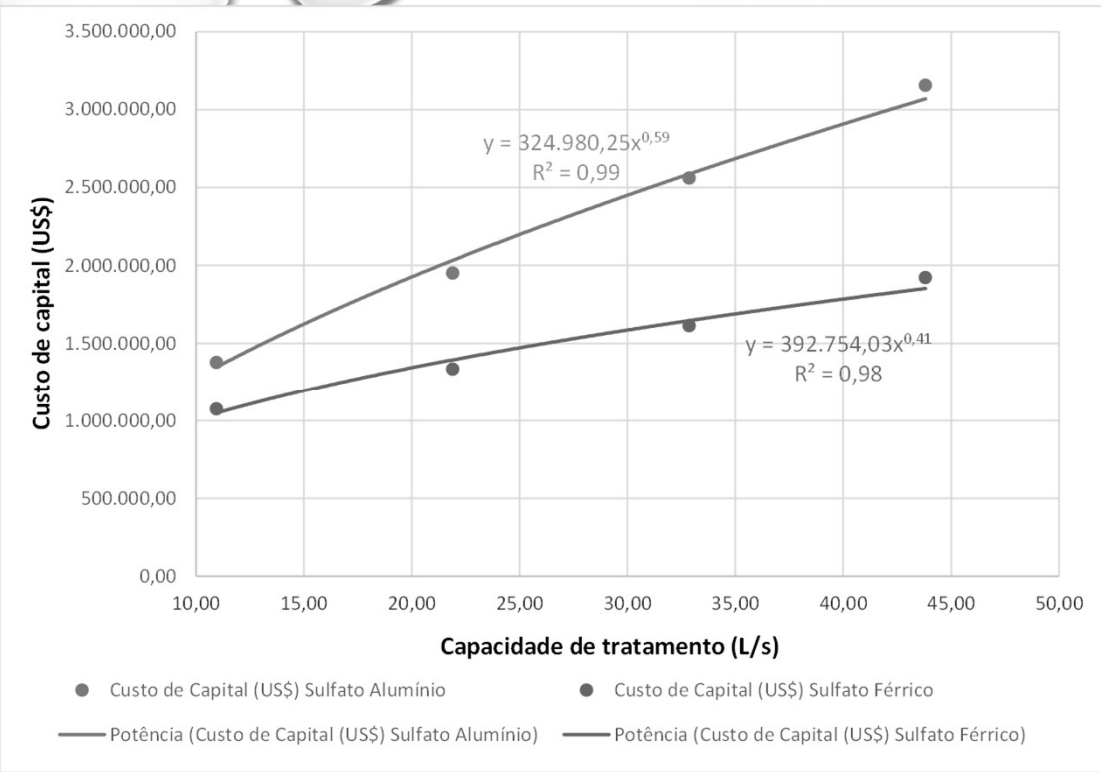


Dados atualizados para Janeiro de 2017

## Sistema de Convencional



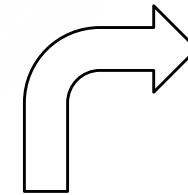
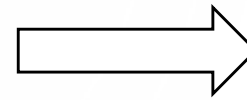
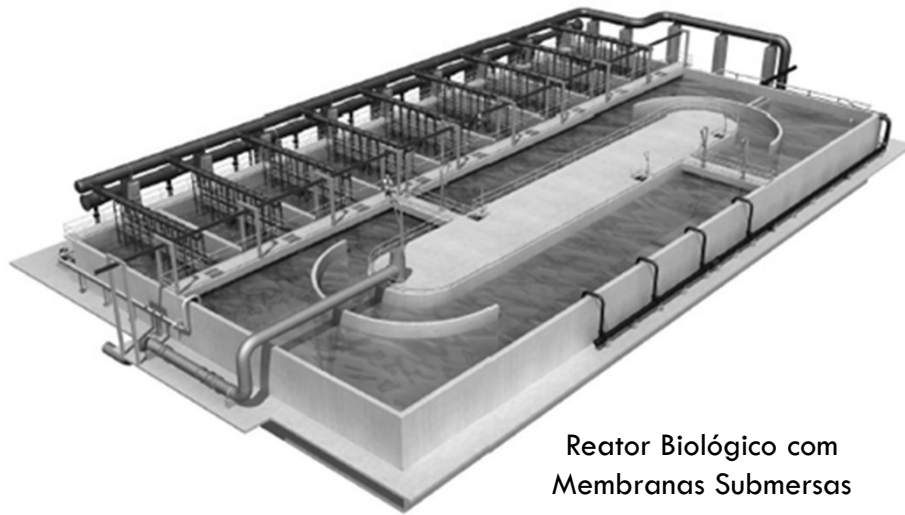
## Sistema de Carvão Ativado



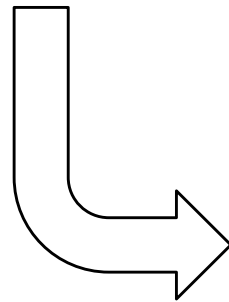
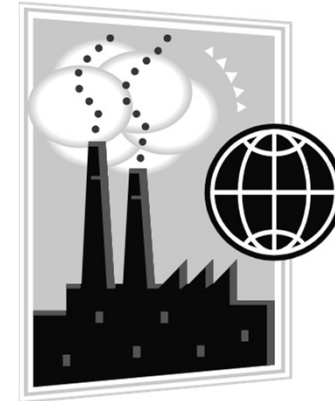
## Sistema de Filtração Direta

# CUSTOS NO BRASIL

- NO BRASIL AINDA É DIFÍCIL OBTER UMA TENDÊNCIA DO CUSTO DOS SISTEMAS DE SEPARAÇÃO POR MEMBRANAS;
- A DEMANDA AINDA É MUITO PEQUENA;
- POUCAS EMPRESAS ATUAM NO MERCADO;
- NÃO EXISTE CRITÉRIO PARA A FORMAÇÃO DE PREÇO DOS SISTEMAS.

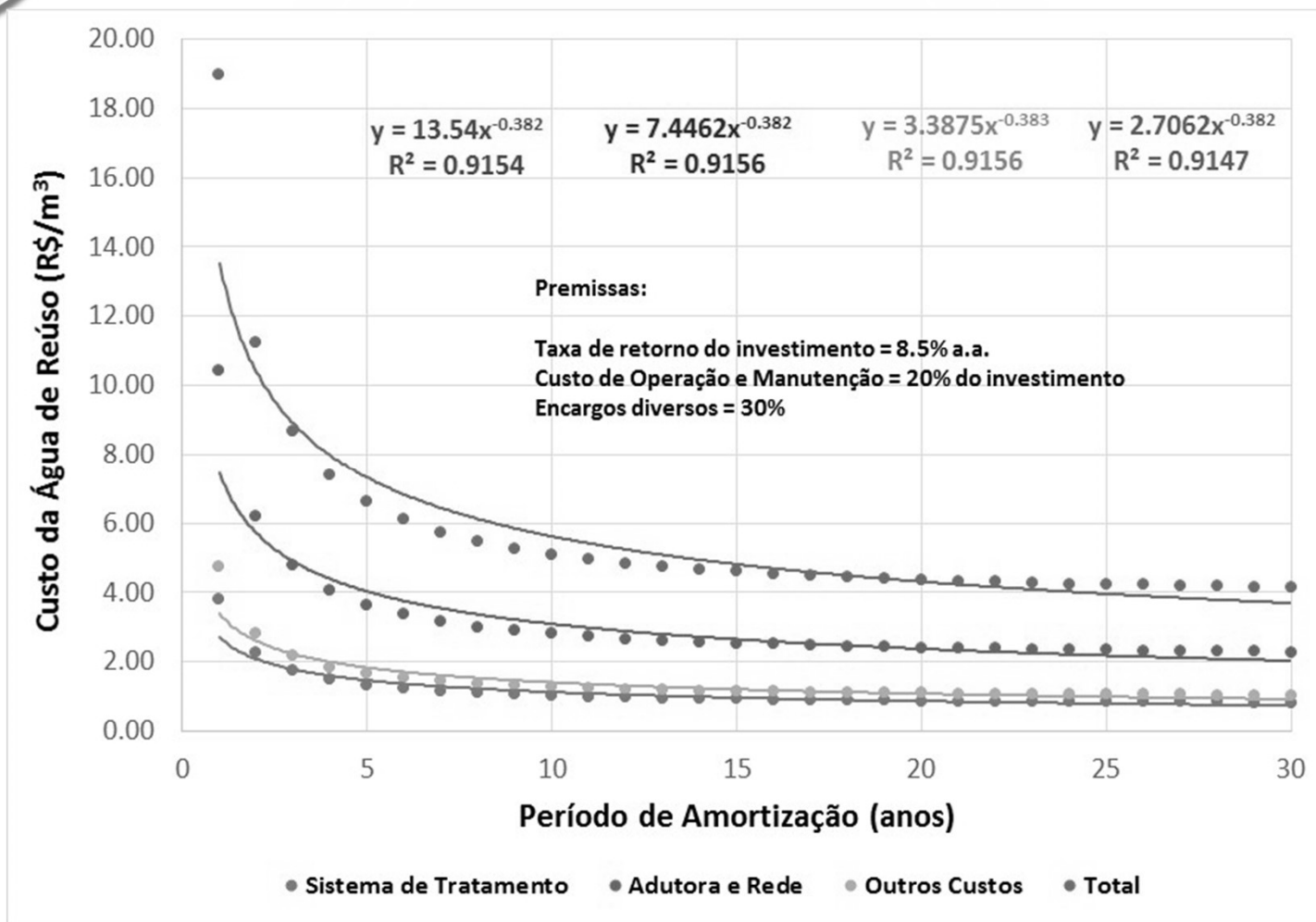


Pólo Petroquímico



Projeto AQUAPOLO





Estimativa do custo de produção da Água de Reúso no AQUAPOLO

<http://www.saopaulo.sp.gov.br/spnoticias/lenoticia.php?id=210298>

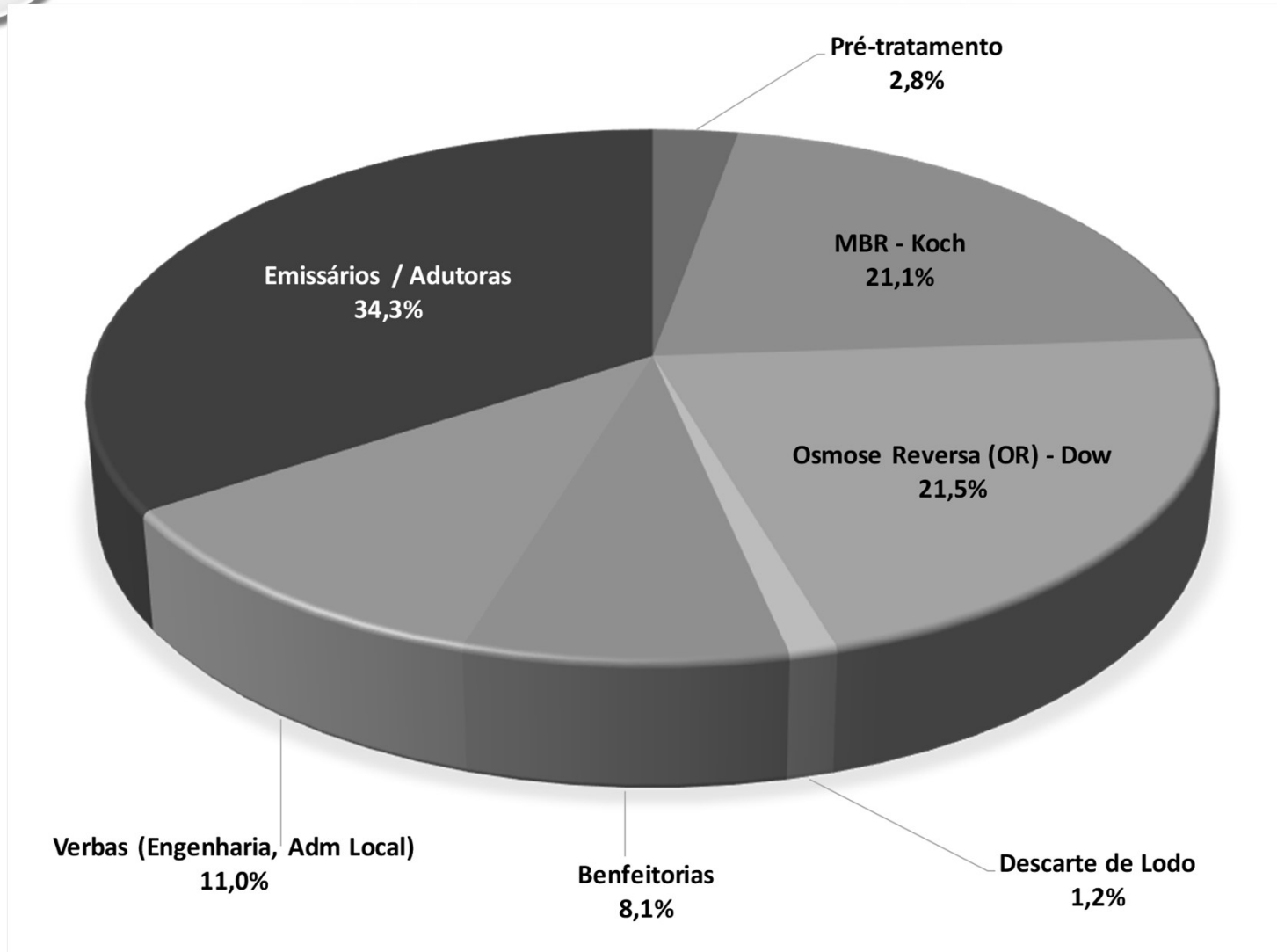
## DETALHAMENTO DO CUSTO DE UMA UNIDADE DE REÚSO (540 L/S - ESGOTO)

Descrição	Valores (R\$)	% do total
<b>ETE</b>	<b>108.103.419,00</b>	<b>100,0%</b>
<b>Pré-tratamento</b>	<b>4.640.000,00</b>	<b>4,3%</b>
<b><i>Obras Cívicas</i></b>	<b>740.000,00</b>	<b>15,9%</b>
Grades	180.000,00	
Caixa de Areia	560.000,00	
<b><i>Equipamentos</i></b>	<b>3.900.000,00</b>	<b>84,1%</b>
Grade Mecanizada	1.860.000,00	
Peneira	2.040.000,00	
<b>MBR - Koch</b>	<b>34.713.419,00</b>	<b>32,1%</b>
<b><i>Obras Cívicas</i></b>	<b>6.380.000,00</b>	<b>18,4%</b>
Tanque de Aeração	5.740.000,00	
Regulador de Vazão	640.000,00	
<b><i>Equipamentos</i></b>	<b>28.333.419,00</b>	<b>81,6%</b>
Difusores / Sopradores (Tanque de Aeração)	1.920.000,00	
Membranas (Koch)	26.413.419,00	
<b>Osmose Reversa (OR) - Dow</b>	<b>35.360.000,00</b>	<b>32,7%</b>
<b><i>Obras Cívicas</i></b>	<b>360.000,00</b>	<b>1,0%</b>
<b><i>Equipamentos</i></b>	<b>35.000.000,00</b>	<b>99,0%</b>

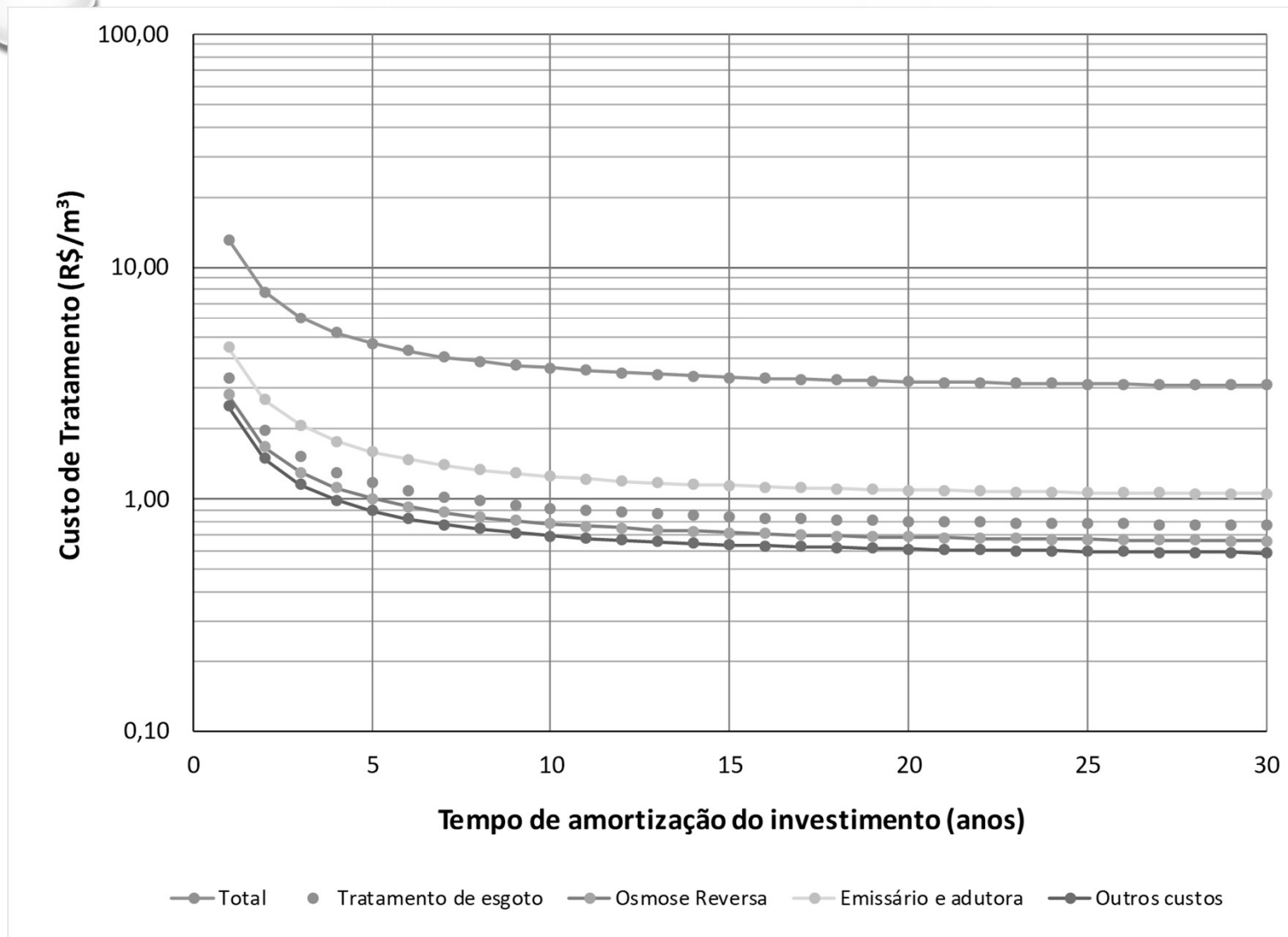
## Detalhamento do custo de uma unidade de reúso (cont.)

<b>Descarte de Lodo</b>	<b>1.980.000,00</b>	<b>1,8%</b>
<b>Obras Civas</b>	<b>1.200.000,00</b>	<b>60,6%</b>
Desaguamento de Lodo	1.200.000,00	
<b>Equipamentos</b>	<b>780.000,00</b>	<b>39,4%</b>
Centrifuga Decanter	600.000,00	
Elétrica	180.000,00	
<b>Benfeitorias</b>	<b>13.290.000,00</b>	<b>12,3%</b>
Serviços Preliminares, Terraplenagem e Drenagem	2.710.000,00	
Edifícios	4.480.000,00	
Subestação Elétrica	5.000.000,00	
Arruamento, Iluminação e Paisagismo	1.100.000,00	
<b>Verbas (Engenharia, Adm Local)</b>	<b>18.120.000,00</b>	<b>16,8%</b>
Omissos	7.800.000,00	
Instrumentação	1.150.000,00	
Engenharia	5.870.000,0	
Custo Indireto das Obras Civas (Adm Local)	3.300.000,00	
<b>EMISSÁRIOS / ADUTORAS</b>	<b>56.340.000,00</b>	
Emissário	33.170.000,00	
Adutora	23.170.000,00	





**Distribuição dos custos do Sistema de Reúso Proposto**



## Custo de produção da água de reúso