UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL

ELIEZER FARES ABDALA NETO

O USO DA CAVITAÇÃO HIDRODINÂMICA COMO ALTERNATIVA PARA A DESINFECÇÃO DE ÁGUAS PARA ABASTECIMENTO HUMANO

FORTALEZA
2006

ELIEZER FARES ABDALA NETO

O USO DA CAVITAÇÃO HIDRODINÂMICA COMO ALTERNATIVA PARA A DESINFECÇÃO DE ÁGUAS PARA ABASTECIMENTO HUMANO

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil, área de concentração Saneamento Ambiental.

Orientador: Profª. Dra. Marisete Dantas Aquino.

FORTALEZA-CE
2006

A116u Abdala Neto, Eliezer Fares

O uso da Cavitação Hidrodinâmica como alternativa para a desinfecção de águas para o abastecimento humano/ Eliezer Fares Abdala Neto.

176f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Fortaleza, 2006.

Orientadora:Profª. Dra. Marisete Dantas de Aquino.

1.Engenharia sanitária. 2.Saneamento. 3.Água – Purificação. I.Título.

CDD 628

ELIEZER FARES ABDALA NETO

O USO DA CAVITAÇÃO HIDRODINÂMICA COMO ALTERNATIVA PARA A DESINFECÇÃO DE ÁGUAS PARA ABASTECIMENTO HUMANO

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil, área de concentração Saneamento Ambiental.

Aprovada em _22_/_08_/_2006_

BANCA EXAMINADORA

_____
Profª. Dra. Marisete Dantas de Aquino (orientadora)
Universidade Federal do Ceará

_____
Prof. Dr. Ernesto da Silva Pitombeira
Universidade Federal do Ceará

_____
Prof. Dr. Roberto Sérgio Farias de Sousa
Universidade de Fortaleza

À minha mãe Vera Abdala e aos meus filhos, Danyel e Wanessa, verdadeiras fontes de luz e inspiração para minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento especial

- À Deus, pela vida concedida, à saúde, à família e os amigos que me acompanham nessa jornada, e que juntos me proporcionam vitórias.
- Aos meus pais, Carlos Alberto Barros Leal de Sá e Vera Lúcia Abdala de Sá pela dedicação, educação e formação moral e ética, que me deram suporte e apoio necessário para o meu desenvolvimento pessoal e profissional.
- Aos meus filhos Danyel Abdala e Wanessa Abdala, pela compreensão, carinho e apoio demonstrados ao longo da minha vida.

Agradecimento institucional

- À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Funcap), pela concessão de Bolsa-auxílio.
- À Lapsol, Vedações Industriais Ltda., pela fabricação dos selos mecânicos utilizados, exclusivamente, para os protótipos desenvolvidos na pesquisa.
- Ao Parque Tecnológico (Par-Tec) do Núcleo de Tecnologia Industrial (Nutec), pelas condições que me foram dadas, sem as quais este trabalho não teria sido realizado.
- À Spirax-Sarco, pela política de preço praticada de modo diferenciado propiciando a aquisição de itens a serem agregados aos protótipos, sem os mesmos não teríamos obtidos êxito na pesquisa.
- À Universidade Federal do Ceará (UFC), pela oportunidade de participação no curso de mestrado.

Agradecimento pessoal

- Á professora Marisete Dantas Aquino, pela orientação e sugestões apresentadas.
- Ao professor Francisco Suetônio Bastos Mota pelo apoio concedido na compra de reagentes e materiais para as análises microbiológicas.
- Ao professor Roberto Sérgio Farias de Sousa, pelas contribuições e participação na banca julgadora.
- Ao professor Ernesto da Silva Pitombeira, pela participação na banca julgadora e contribuições apresentadas.
- Ao amigo Marcos Medeiros de Vasconcelos, pela amizade sincera, incentivo constante, ampla ajuda na concatenação das idéias e pelas sugestões no decorrer deste trabalho.
- À amiga Sálvia de Moraes Melo, pela ajuda prestada junto ao Parque Tecnológico do Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará, NUTEC.
- À amiga Érika Almeida Sampaio Braga, pela colaboração nas análises Físico-Químicas.
- Ao amigo Luewton Lemos, pela amizade e fornecimento de informações.
- Ao amigo Márcio Botto, pelo apoio na metodologia de coletas de amostras de água.
- À Andréa Ferreira, pela disponibilidade oferecida no Laboratório para realização das análises microbiológicas.
- Ao colega Carlos Marcio Soares Rocha, pelas análises estatísticas.
- Aos funcionários do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da UFC, em destaque ao amigo Erivelton Ferreira.
- Aos professores do curso de mestrado, do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da UFC, pelo estímulo e transferência do conhecimento.

"Eu não sou mais inteligente do que os outros.
A única diferença é que passo
mais tempo com os problemas. "
(Albert Einstein)

RESUMO

Relata o uso da cavitação hidrodinâmica como alternativa para a desinfecção de água para o abastecimento humano, ampliando a oferta de água que atenda aos padrões de potabilidade. No estado do Ceará, tendo em vista as condições de saneamento precárias, fontes de água utilizadas para abastecimento, sejam superficiais e ou subterrâneas, tem apresentado um elevado índice de contaminação. A água que é fornecida a população deve estar isenta da presença de microrganismos patogênicos. A desinfecção constitui-se na medida de tratamento que tem como principal meta a eliminação dos microrganismos causadores de doenças, realizada por meio de agentes físicos e/ou químicos. O cloro tem se destacado como o desinfetante mais difundido, porém estudos recentemente publicados trazem a tona que, muitos desses químicos, podem ser danosos aos usuários de águas tratadas e ao ambiente. E que alguns microrganismos causadores de doenças, são mais resistente ao tradicional desinfetante cloro do que as bactérias do grupo coliformes. Com isso, existe a necessidade de se desenvolver processos de desinfecção adicionais que poderiam eliminar ou reduzir o uso dessas desinfecções químicas. Por meio de um levantamento bibliográfico da engenharia aplicada na concepção da tecnologia de cavitação hidrodinâmica, foram construídos protótipos para produção de água desinfetada através da cavitação hidrodinâmica; avaliando o potencial de geração de cavitação hidrodinâmica através da eficiência térmica apresentada no protótipo; e o estudo da qualidade físico-química e bacteriológica das águas utilizada no experimento. A final da prototipagem foi possível inativação total dos microrganismos observados, coliformes totais e coliformes fecais, presentes na água de alimentação do reator que teve como vazão de alimentação o valor de 6oL/h e potência motriz de 30KW. Apresentando-se como uma alternativa de desinfecção, caracterizada pela possibilidade de adoção em plantas de abastecimento de água individual ou em comunidades de pequeno porte, devido principalmente a não geração de subprodutos, mobilidade da vazão de operação do sistema e o não uso de químicos.

Palavras-chave: Tratamento de água. Desinfecção. Cavitação hidrodinâmica. Ebulição. Destilação. Termodinâmica.

ABSTRACT

It relates the use of hydrodynamics cavitation as an alternative water disinfection for human supplying, increasing water availability in accordance with drinking-water standards. In the state of the Ceará, in view of the precarious conditions of sanitation, used water sources for supplying, are superficial and or underground, it has presented one raised contamination index. The water that is supplied the population must be exempt of the presence of pathogenic. disinfection consists in the measure of treatment that has as main goal the elimination of the .causing of illnesses, carried through by means of physical and/or chemical agents. The chlorine if has detached as the spread out deodorant more, however studies recently published bring that, many of these chemistries, can be harmful to the users of treated waters and the environment. E that some .causing of illnesses, are more resistant to the traditional deodorant chlorine of what the coliform bacteria of the group. With this, the necessity exists of if to develop disinfection processes you add that they could eliminate or reduce the use of these chemical disinfections. By means of a bibliographical survey of the engineering applied in the conception of the cavitation technology hydrodynamics, they had been constructed to archetypes for water production disinfected through the cavitation hydrodynamics; evaluating the potential of cavitation generation hydrodynamics through the presented thermal efficiency in the archetype; e the study of the quality bacteriological physicist-chemistry and of waters used in the experiment. The end of the test unit was possible death of the observed microorganism, gifts in the water of feeding of the reactor that had as feeding outflow the value of 60L/h and power of 30KW. Presenting itself as an alternative of disinfection, characterized for the possibility of adoption in plants personal of water supply or in communities of small which had mainly transport, not the by-product generation, mobility of the outflow of operation of the system and not the use of chemistries.

Word-key: Water treatment. Disinfection. Cavitation hydrodynamics. Boiling. Destillation. Thermodynamics.

.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Alguns microrganismos patogênicos de interesse da Engenharia Ambiental..... 34
FIGURA 2 – Abastecimento de água – distritos abastecidos e com tratamento..... 43
FIGURA 3a – Empacotamento molecular nos sólidos..... 45
FIGURA 3b – Empacotamento molecular nos líquidos..... 45
FIGURA 4 – Representação gráfica da viscosidade em fluidos..... 46
FIGURA 5 – Representação gráfica do fluido em escoamento lamelar..... 48
FIGURA 6 – Corpo sólido submerso em fluido..... 53
FIGURA 7 – Percentual de coliformes totais inativados por várias técnicas..... 61
FIGURA 8 – Esboço do sistema completo utilizado nos trabalhos de Jyoti; Pandit (2004)..... 62
FIGURA 9 – Organismo de controle..... 63
FIGURA 9a – Após 5min sob irradiação ultrasônica..... 63
FIGURA 10 – Organismo de controle..... 64
FIGURA 10a – Após 5min sob irradiação ultrasônica..... 64
FIGURA 11 – Esboço do sistema de inibição de patógenos em biosólidos, apresentado na patente de no. US 2002151810..... 65
FIGURA 12 – Gráfico da redução dos oocisto de cryptosporidium através do uso do sistema da patente No. US 2002151810..... 65
FIGURA 13 – Desenho esquemático do reator de cavitação hidrodinâmico..... 71
FIGURA 14 – Representação do início da seqüência vibratória sofrida com a rotação do rotor pelas moléculas do meio de propagação..... 72
FIGURA 15 – Representação do comportamento das moléculas do meio de propagação, sob ação das ondas vibratórias, criando etapas de pressão positiva e negativa, até originar a cavidade..... 72
FIGURA 16 – Esboço do sistema completo de desinfecção por cavitação hidrodinâmica..... 73
FIGURA 17 – Protótipo 1, com detalhe das duas possibilidades de injeção de água de alimentação e saída de água processada no reator, instalado no Parque Tecnológico do NUTEC, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza,Ceará..... 79
FIGURA 18 – Vista da tampa lateral do Protótipo 2 cromada, detalhe para ponto de saída e ponto de entrada de água, instalado no Parque Tecnológico do NUTEC, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza,Ceará..... 80
FIGURA 19 – Motor elétrico montado ao reator de cavitação – Protótipo 2, instalado no Parque Tecnológico do NUTEC, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza,Ceará..... 81
FIGURA 20 – Tampa lateral em alumínio sextavado, utilizado no protótipo 3 do reator de cavitação..... 83
FIGURA 21 – Usinagem das tampas sextavada em alumínio, utilizadas no protótipo 3 do reator de cavitação..... 83
FIGURA 22 – Usinagem da câmara em alumínio, utilizadas no protótipo 3 do reator de cavitação..... 84

FIGURA 23 – Usinagem do mancal em alumínio, utilizado no protótipo 3 do reator de cavitação..... 84
FIGURA 24 – Vista externa do local de coleta de esgoto bruto, rede concessionária local, Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), que passa nas dependências do campus do Pici – UFC, Fortaleza, Ceará..... 86
FIGURA 25 – Vista interna do local de coleta de esgoto bruto, rede concessionária local, Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), que passa nas dependências do campus do Pici – UFC, Fortaleza, Ceará..... 86
FIGURA 26 – Bomba hidráulica utilizada para injetar água de alimentação, protótipo 3..... 88
FIGURA 27 – Unidades de filtros de cartucho utilizados antes da entrada de água de alimentação no reator de cavitação, protótipo 3..... 89
FIGURA 28 Coletor de vapor e/ou água quente extraídos do reator de cavitação hidrodinâmico, protótipo 3..... 90
FIGURA 29 – Purgador de bóia Spirax Sarco utilizado no reator de cavitação hidrodinâmica, protótipo 3..... 91
FIGURA 30 – Separador de umidade Spirax Sarco utilizado no reator de cavitação hidrodinâmica, protótipo 3..... 91
FIGURA 31 – Tanque de condensação e pré-aquecimento da água de alimentação utilizados no reator de cavitação hidrodinâmica, protótipo 3..... 92
FIGURA 32 – Montagem do protótipo 3 com seus periféricos apoiados numa estrutura metálica, instalado no Parque Tecnológico do NUTEC, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza,Ceará 2006..... 93
FIGURA 33 – Montagem parcial das mangueiras de passagem de fluido com o reator de cavitação – protótipo 3, instalado no Parque Tecnológico do NUTEC, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza,Ceará..... 93
FIGURA 34 – Montagem finalizada do reator – protótipo 3, sem isolamento e com todos os periféricos, instalado no Parque Tecnológico do NUTEC, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza,Ceará..... 94
FIGURA 35 – Protótipo 3 montado com os periféricos apoiados numa estrutura metálica e isolados termicamente, instalado no Parque Tecnológico do NUTEC, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza,Ceará..... 94
FIGURA 36 – Gráfico da média de resultados das tomadas de temperatura para o protótipo 1, com injeção de água de alimentação realizada pelas tampas laterais do reator de cavitação hidrodinâmico..... 97
FIGURA 37 – Gráfico da média de resultados das tomadas de temperatura para o protótipo 1, com injeção de água de alimentação realizada pelos mancais laterais do reator de cavitação hidrodinâmico..... 97

FIGURA 38 – Gráfico da média de resultados das tomadas de temperatura para o protótipo 1, com injeção de água de alimentação realizada pelos mancais laterais a uma vazão de 15 L/h..... 98
FIGURA 39 – Gráfico da média de resultados das tomadas de temperatura para o protótipo 1, com injeção de água de alimentação realizada pelos mancais laterais a uma vazão de 20 L/h. 99
FIGURA 40 – Gráfico comparativo dos resultados observados no protótipo 1 para diferentes vazões e pontos de injeção..... 100
FIGURA 41 – Gráfico da média dos resultados das tomadas de temperatura observados no protótipo 2, funcionando com vazão de 15L/h. 101
FIGURA 42 – Gráfico comparativo dos resultados observados entre os protótipos 1 e 2, funcionando com a mesma vazão de 15L/h e injeção realizado pelos mancais laterais..... 104
FIGURA 43 – Gráfico da média de resultados das tomadas de temperatura observados no protótipo 2, funcionando com vazão de 20L/h..... 105
FIGURA 44 – Gráfico da média de resultados das tomadas de temperatura para o protótipo 2, para uma vazão de 25L/h..... 106
FIGURA 45 – Gráfico comparativo dos resultados do protótipo 2, funcionando com diferentes vazões de água de alimentação.... 106
FIGURA 46 – Rotor utilizado no protótipo 2, impregnado com oxidação e outras impurezas..... 108
FIGURA 47 – Gráfico da média dos resultados para tomadas de temperatura observados no protótipo 3..... 110
FIGURA 48 – Gráfico da média de resultados das tomadas de temperatura observados no protótipo 3, com vazão de 60L/h..... 111
FIGURA 49 – Gráfico da média de resultados das tomadas de temperatura observados no protótipo 3, com vazão de 80L/h..... 111
FIGURA 50 – Gráfico da média de resultados das tomadas de temperatura observados no protótipo 3, com vazão de 100L/h..... 112
FIGURA 51 – Comparativo de resultados apresentados pelo protótipo 3, com diferentes vazões de alimentação..... 113
FIGURA 52 – Média de resultados das tomadas de temperatura efetuados nos primeiros 3 minutos de funcionamento dos protótipos construídos..... 114
FIGURA 53 – Comparativo de resultados de eficiência térmica apresentados por todos os modelos de protótipos construídos..... 115
FIGURA 54 – Gráfico tipo caixa das concentrações de nitrato em amostras de água de alimentação e processada..... 118
FIGURA 55 – Gráfico tipo caixa dos valores de temperatura da água processada, observados nos protótipos 1, 2 e 3 em função do tempo..... 120

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Padrão microbiológico de potabilidade da água para consumo humano..... 37
TABELA 2 – Disposição das bateladas realizadas nos protótipos do reator de cavitação..... 75
TABELA 3 – Distribuição das análises físico-químicas e microbiológicas realizadas nos protótipos do reator de cavitação..... 76

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Principais organismos de interesse..... 30
QUADRO 2 – Principais doenças associadas com a água..... 33
QUADRO 3 – Breve relato da Literatura consultada a respeito de modelos de reatores de cavitação..... 67
QUADRO 4 – Métodos analíticos utilizados durante os experimentos..... 77
QUADRO 5 – Características físico-químicas da água de alimentação e processada pelo protótipo 1..... 101
QUADRO 6 – Resultado da análise microbiológica 01, realizada utilizando-se o protótipo 2..... 107
QUADRO 7 – Resultado da análise microbiológica 02, realizada utilizando-se o protótipo 2..... 107
QUADRO 8 – Características físico-químicas da água de alimentação e processada pelo protótipo 2..... 109
QUADRO 9 – Características físico-químicas da água de alimentação e água processada pelo protótipo 3..... 116
QUADRO 10 – Resultado da análise microbiológica 01, realizada utilizando-se o protótipo 3..... 116
QUADRO 11 – Resultado da análise microbiológica 02, realizada utilizando-se o protótipo 3..... 116
QUADRO 12 – Resultado da análise microbiológica 03, realizada utilizando-se o protótipo 3..... 117
QUADRO 13 – Resultado da análise microbiológica 04, realizada utilizando-se o protótipo 3..... 117
QUADRO 14 – Resultado da análise microbiológica 05, realizada utilizando-se o protótipo 3..... 117
QUADRO 15 – Resultado da análise microbiológica 06, realizada utilizando-se o protótipo 3..... 117

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

ABES	–	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária
ABNT	–	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APHA	–	American Public Health Association
Anvisa	–	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
AWWA	–	American Water Works Association
CAGECE	–	Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará
CEPIS	–	Centro Panamericano de Engenharia Sanitária e Ciência Ambiental
CF	–	Coliformes Fecais
CNPq	–	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CPRM	–	Serviço Geológico do Brasil
DNOCS	–	Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
EPA	–	Environmental Protection Agency
EF	–	Estreptococos Fecais
US	–	Estados Unidos da América
Funasa	–	Fundação Nacional da Saúde
Funcap	–	Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico
HC	–	Cavitação Hidrodinâmica
HPC	–	Contagem em Placa Heterotrófica
IBGE	–	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MMA	–	Ministério do Meio Ambiente
Nutec	–	Núcleo de Tecnologia Industrial
OMS	–	Organização Mundial de Saúde
ONU	–	Organização das Nações Unidas
OPS	–	Organização Pan-americana de Saúde
Par-Tec	–	Parque Tecnológico do Nutec
PI	–	Patente de Invenção
STD	–	Sólidos Totais Dissolvidos
THM	–	Trihalometanos
UFC	–	Universidade Federal do Ceará
US	–	Ultrasom
US Bath	–	Ultrasom aplicado e a cavitação distribuída uniformemente na amostra
US Horn	–	Ultrasom aplicado e a cavitação gerada somente em área restrita da amostra
VMP	–	Valor Máximo Permitido

LISTA DE SÍMBOLOS

$NPSH_{requerido}$		carga energética líquida e requerida pela bomba
$NPSH_{disponível}$		carga energética líquida e disponível na instalação
H_{atm}		Pressão atmosférica local
H_s		Altura de sucção
H_v		Pressão de vapor do líquido em função da temperatura
DH_s		Perda de carga total na linha de sucção
km^2	–	Quilômetro quadrado
Mm	–	Milímetro
^oC	–	Graus centígrados
km^3	–	Quilômetro cúbico
m^3	–	Metro cúbico
Mg	–	Miligrama
L	–	Litro
Cm	–	Centímetro
H	–	Hora
Ph	–	Potencial hidrogeniônico
$CaCO_3$	–	Carbonato de cálcio
Fe^{2+}	–	Íon ferro
S	–	Segundo
CO_3^{2-}	–	Carbonato
HCO_3^-	–	Bicarbonato
$CaSO_4$	–	Sulfato de cálcio
$MgSO_4$	–	Sulfato de magnésio
NaCl	–	Cloreto de sódio
$MgCl_2$	–	Cloreto de magnésio
$CaCl_2$	–	Cloreto de cálcio
Kg	–	Quilograma
V	–	Volt
Cl_2	–	Cloro
H_2O	–	Água
H_2	–	Hidrogênio molecular
NaOH	–	Hidróxido de sódio
OH^-	–	Hidroxila
O_2	–	Oxigênio
O_3	–	Ozônio
H_2O_2	–	Peróxido de hidrogênio
O_3	–	Ozônio
OCl^-	–	Íon hipoclorito
HClO	–	Ácido hipocloroso
ClO_2	–	Dióxido de cloro
K	–	Kelvin
kW	–	Quilowatt
MHz	–	Mega Hertz
kHz	–	Quilo Hertz
N	–	Newton
NaOCl	–	Hipoclorito de sódio
kWh	–	Quilowatt-hora

HCl	–	Ácido clorídrico
H^+	–	Hidrogênio
NH_3	–	Amônia
NH_2Cl	–	Monocloraminas
$NHCl_2$	–	Dicloraminas
NCl_3	–	Tricloraminas
$CaOCl_2$	–	Hipoclorito de cálcio
A	–	Ampère
ClO_2^-	–	Íon clorito
ClO_3^-	–	Íon clorato
$NaClO_3$	–	Clorato de sódio
Ml	–	Mililitro
cm^3	–	Centímetro cúbico
cm^2	–	Centímetro quadrado
uT	–	Unidade de Turbidez
NMP	–	Número mais provável
UFC	–	Unidade formadora de colônia
Min	–	Minutos
$Na_2S_2O_3$	–	Tiossulfato de sódio
$NaHSO_3$	–	Biossulfito de sódio
Mn^{2+}	–	Íon manganês
M	–	Metro
T	–	Temperatura
Km	–	Quilômetro
$\vec{F}$	–	Força
$\vec{v}$	–	Velocidade
η	–	Viscosidade
A	–	Área
P	–	Pressão
m	–	Massa
V	–	Volume
$[\rho]$		Densidade
N_R		Número de Reynolds
D		Diâmetro do tubo
KJ	–	Quilo Joule
M	–	Metro
mg/L	–	Miligrama/litro
P1	–	Medidor de pressão
P2	–	Medidor de pressão
RPM	–	Rotação por minuto
V1	–	Válvula de controle
V2	–	Válvula de controle
Vm	–	Velocidade média

SUMÁRIO

RESUMO..... 8
ABSTRACT..... 9
LISTA DE FIGURAS..... 10
LISTA DE TABELAS..... 13
LISTA DE QUADROS..... 14
LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS..... 15
LISTA DE SÍMBOLOS..... 16

1 INTRODUÇÃO..... **21**
1.1. Problemática da água..... 21
1.2. Objetivos..... 23
1.2.1. Objetivo Geral..... 23
1.2.2. Objetivos Específicos..... 24
1.3. Apresentação do trabalho..... 24

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... **26**
2.1. O microrganismo no ambiente aquático..... **26**
2.1.1. Principais microrganismos de interesse 29
2.2. Doenças de veiculação hídrica..... **31**
2.2.1. Epidemiologia..... 31
2.3. Microrganismos indicadores da qualidade da água..... **34**
2.3.1. Padrão de potabilidade..... 36
2.4. Desinfecção de água..... **37**
2.4.1. Agentes de desinfecção..... 39
2.4.2. Panorama da desinfecção..... 41
2.5. A cavitação..... **44**
2.5.1. Fundamentos da mecânica dos fluidos..... 44
2.5.2. Histórico e definições de cavitação..... 50
2.5.3. Coeficiente de cavitação..... 53
2.5.4. Problemas gerados pela cavitação..... 57
2.5.5. Aplicação da Cavitação..... 58
2.5.6. Relatos de experimentos com a cavitação hidrodinâmica..... 59

3. METODOLOGIA, INSTALAÇÕES E PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS **66**

3.1. Localização do experimento **66**

3.2. Levantamento bibliográfico para o projeto do reator do cavitação **66**

3.2.1. Ocorrência cavitação hidrodinâmica no ambiente interno do reator a ser construído na prototipagem 71

3.2.2. Desenho esquemático do sistema completo utilizado na pesquisa 73

3.3. Métodos analíticos e análises **74**

3.3.1. Aferição do desempenho a diferentes vazões 74

3.3.2 .Aferição do comportamento da temperatura 74

3.3.3. Análise físico-química e microbiológica das águas 76

3.4. Construção dos protótipos **77**

3.4.1. Protótipo 1 78

3.4.1.1. Otimização do ponto de injeção de água de alimentação 78

3.4.1.2. Teste com diferentes vazões 79

3.4.1.3. Análise físico-química e microbiológica das águas 79

3.4.2. Protótipo 2 80

3.4.2.1. Seleção do material para usinagem do protótipo 2 80

3.4.2.2. Alterações na geometria do reator 81

3.4.2.3. Teste com diferentes vazões 81

3.4.2.4. Análise físico-química e microbiológica das águas 82

3.4.3. Protótipo 3 82

3.4.3.1. Seleção do material para usinagem do protótipo 3 82

3.4.3.2. Produção de água inoculada 85

3.4.3.3. Análise físico-química e microbiológica das águas 87

3.4.3.4. Montagem do experimento para o protótipo 3 88

3.4.3.5. Avaliação das alterações na geometria do rotor 95

3.4.3.6. Teste com diferentes vazões 95

3.5. Análise estatística **95**

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO **96**

4.1. Avaliação de desempenho do protótipo 1 ..... **96**

4.1.1. Avaliação do melhor ponto de injeção 97

4.1.2. Avaliação da eficiência térmica com diferentes vazões..... 98
4.1.3. Avaliação da qualidade físico-química da água de alimentação e processada..... 100
4.2. Avaliação de desempenho do protótipo 2..... **100**
4.2.1. Material selecionado para usinagem..... 102
4.2.2. Avaliação da mudança na geometria do reator..... 102
4.2.3. Avaliação da eficiência térmica com diferentes vazões..... 104
4.2.4. Avaliação da qualidade físico-química e microbiológica da água de alimentação e processada..... 107
4.3. Avaliação de desempenho do protótipo 3..... **109**
4.3.1. Avaliação da mudança na geometria do rotor..... 109
4.3.2. Avaliação da eficiência térmica em diferentes vazões..... 110
4.3.3. Avaliação da qualidade físico-química e microbiológica da água de alimentação e processada..... 115
4.4. Análise estatística..... **118**

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES..... **122**

6. BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS..... **125**
APÊNDICES..... **131**
APÊNDICE A – Tomadas de temperaturas verificados nos protótipos construídos..... **132**
APÊNDICE B - Resultados das análises físico-químicas e bacteriológicas das águas de alimentação e processada, utilizadas nos protótipos..... **149**

1. INTRODUÇÃO

1.1. A problemática da água

A escassez de água que atenda aos padrões, tanto para consumo humano como para consumo animal e ou irrigação, tem demonstrado ser o problema ambiental do terceiro milênio. No estado do Ceará, tendo em vista as condições de saneamento precárias e as fontes de água utilizadas para abastecimento, sejam superficiais e ou subterrâneas, estas tem apresentado um elevado índice de contaminação.

A qualidade das águas subterrâneas sob o ponto de vista bacteriológico e químico é, em geral, muito melhor do que a das águas superficiais, dispensando, na maioria dos aqüíferos captados, qualquer tratamento antipoluente. Nas áreas altamente urbanizadas, onde as edificações que não estão ligadas ao esgoto, despejam seus dejetos “in natura” no solo, o lençol freático está, na sua maior parte, poluído. O uso de água do subsolo, por poços residenciais, como única fonte de água para o abastecimento é muito grande em todas as regiões brasileiras e as condições em que esta água se encontra é, geralmente, contaminada por coliformes fecais. Quando, por falta de opção, essas águas são utilizadas, provocam doenças na comunidade, agravando as condições de saúde pública. Muitas vezes, a sua qualidade inadequada é, também, um fator impeditivo de utilização em lavouras e na dessedentação de animais.

A crescente utilização destas práticas, a fim de se obter maior oferta de água, traz impactos sobre a saúde das populações. Devido à falta de alternativas viáveis, sob o ponto de vista financeiro, estes usuários acabam por negligenciar qualquer opção de desinfecção destas águas, ficando susceptíveis aos perigos das doenças de veiculação hídrica.

Segundo Biasoli (2000), especificamente nas grandes metrópoles e pequenas cidades do Brasil, as populações são acometidas por uma diversidade de doenças infecciosas, principalmente, pela falta de coleta, tratamento e disposição final dos esgotos.

Conforme Von Sperling (1996), a qualidade de uma determinada água é função do uso e da ocupação na bacia hidrográfica.

Os países em desenvolvimentos enfrentam sérios problemas com a alta incidência de doenças relacionadas com a falta de saneamento básico, sendo mais afetadas as populações que vivem em localidades pobres, periféricas, e em zonas rurais. Estes locais, por não possuírem sistemas de esgoto ou drenagem, despejam uma elevada carga de poluição em corpos d'água, muitos dos quais servem de abastecimento de água sem nenhum tratamento antes do seu consumo. Como conseqüência, depara-se com um ciclo vicioso, onde o homem ingere uma água que está contaminada, contamina-se, e, depois, com seus dejetos, contamina a água. Este ciclo ocorre com as principais doenças relacionadas com a água, como cólera, febre tifóide, disenteria bacilar, giardíase, salmonelose, e poliomielite.

A água que é fornecida a população deve estar isenta da presença de microrganismos causadores de doenças. Torna-se imprescindível a busca de medidas mitigadoras ou indicações para possíveis soluções do problema gerado pelo uso de água de fontes alternativas sem desinfecção, de modo a evitar conseqüências negativas para o meio ambiente, para a saúde das populações e a economia produtiva, bem como, apontar caminho para o uso de formas de desinfecção que não gerem subprodutos.

A desinfecção constitui-se na medida de tratamento que tem como principal meta a eliminação dos microrganismos causadores de doenças, realizada por meio de agentes físicos e/ou químicos. A variedade de técnicas físicas e químicas que são rotineiramente usadas para a desinfecção da água potável incluem cloração, ozonização e luz ultravioleta. Outras técnicas incluem a combinação de dois ou mais métodos de desinfecção como o avançado processo de oxidação. Outras tecnologias emergentes incluem filtração por membrana, desinfecção por íons de cobre e prata, processo fotocatalítico e radiação gama.

A totalidade de produtos químicos usados na desinfecção tem como função o controle de doenças de veiculação hídrica e a eliminação dos agentes que causam doenças presentes nas águas. Produtos químicos como o cloro, peróxido de hidrogênio, dentre outros, têm proporcionado a elevação da qualidade de vida e a redução dos níveis de mortalidade infantil por doenças causadas pela ingestão de águas, com eficiência indiscutível. Contudo, estudos recentemente publicados trazem a tona que, o uso do cloro e ou ozônio, por se comportarem como oxidantes

muito fortes, podem gerar alguns subprodutos da desinfecção que, apesar da baixa concentração, podem ser danosos aos usuários de águas tratadas e ao ambiente. Soma-se a isto, o fato de que, alguns microrganismos causadores de doenças, em especial vírus e protozoários, são mais resistentes ao tradicional desinfetante cloro do que as bactérias do grupo coliformes. Com isso, existe a necessidade de se desenvolver processos de desinfecção adicionais que poderiam eliminar ou reduzir o uso dessas desinfecções químicas. Alternativas que sejam mais accessíveis às populações carentes, mais eficientes na inativação de uma ampla faixa de microrganismos patogênicos e que não gerem subprodutos.

Observa-se que a maioria da população que não tem acesso aos serviços de saneamento básico está na zona rural, nos pequenos municípios sem capacidade de geração de recursos, e nas zonas marginalizadas dos grandes centros urbanos. Vale ressaltar também que, de acordo com dados do IBGE (2000), o nordeste brasileiro possui área de aproximadamente 1.640.000 km2, representando 18,3% do território nacional. Mais da metade de sua superfície, 53%, corresponde à uma região que se caracteriza, de um lado, à baixa pluviosidade e irregularidade das chuvas da região e, de outro, à sua estrutura geológica (escudo cristalino) que não permite acumulações satisfatórias de água no subsolo - estima-se um volume de apenas 80 Km^3 de água no cristalino nordestino - interferindo, inclusive, no caráter de temporariedade dos rios.

Essa parcela de 53% de terra nordestina é denominada de semi-árido. Nestas áreas quando explorada em estrutura cristalina, a água apresenta, na maioria das vezes, salinidade elevada - com teores de cloreto acima de 1000 mg/l - característica, essa, que a torna imprestável ao consumo humano (a Organização Mundial de Saúde recomenda 250 mg/l de cloreto nas águas para o abastecimento das populações) (SUASSUNA, 1999).

Muitos pesquisadores e estudiosos sugerem que, para prover água para essas comunidades, é essencial que se reduzam os custos dos sistemas de abastecimento de água através do uso de tecnologias apropriadas e de baixo custo, e também se instalem sistemas cuja operação e manutenção possam ser gerenciadas e sustentadas com recursos locais.

Considerando este quadro, o objetivo principal desta pesquisa é testar uso a cavitação hidrodinâmica como processo alternativo de desinfecção de água para abastecimento. Tendo como objetivos específicos:

- Levantamento bibliográfico da concepção da tecnologia de cavitação hidrodinâmica, observando dimensionamento, operação e aplicação;
- Construção de protótipos e definição de um modelo de reator para produção de água desinfetada através da geração de vapor por cavitação hidrodinâmica;
- Determinação do melhor ponto de injeção de água bruta no reator de cavitação sem que haja prejuízos a produção de ondas cavitantes.
- Avaliação do potencial de geração de cavitação hidrodinâmica através da eficiência térmica apresentada no protótipo;
- Estudo da qualidade físico-química e bacteriológica das águas bruta e tratada utilizadas no experimento.

1.2. Apresentação do trabalho

O primeiro capítulo introduz o tema, enfocando um dos maiores desafios do terceiro milênio: a escassez de água que atenda os padrões de potabilidade. Além disso, são definidos os objetivos geral e específicos.

O segundo capítulo, através da revisão bibliográfica, apresenta-se um panorama das particularidades da água, abordando aspectos epidemiológicos englobando os microrganismos no ambiente aquático, doenças de veiculação hídrica e a classificação das águas. Enfoca também o panorama da desinfecção e suas diversas formas de utilização. A cavitação é abordada apresentando-se o conceito, o processo e os experimentos com o uso da cavitação no mundo.

No terceiro capítulo, é apresentada a metodologia utilizada no desenvolvimento da pesquisa.

No quarto capítulo, são apresentados e discutidos os resultados das avaliações da eficiência térmica e das análises físico-químicas e microbiológicas realizados com o uso de protótipos de reatores de cavitação hidrodinâmicos, identificando um modelo otimizado capaz de gerar cavitação e provocar a ebulição da água a ser tratada obtendo água processada que atenda os padrões de potabilidade.

No quinto capítulo, são apresentadas as conclusões e recomendações.

No sexto capítulo, a bibliografia e no sétimo os apêndices que apresentam os resultados das análises físico-químicas e microbiológicas realizados ao longo da pesquisa, bem como as tomadas de temperatura utilizadas para medir a eficiência térmica dos protótipos construídos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A água na natureza, realiza um ciclo movido pela energia solar. Evaporação, condensação, precipitação, infiltração e escoamento, são as principais etapas que compõem o processo, denominado ciclo hidrológico, que é responsável pela estabilização climática do planeta e pela manutenção da vida animal e vegetal. Na realização deste ciclo, principalmente ao atravessar a atmosfera e correr pela superfície da terra, a água incorpora as mais diversas substâncias.

Segundo Von Sperling (1996), o grau de pureza conferido a água é função dos diversos componentes presentes na água, podendo ser identificados, de uma maneira ampla e simplificada, em termos das suas características físicas, químicas e biológicas. Essas características podem ser traduzidas na forma de parâmetros de qualidade de água. As principais características da água podem ser expressas como:

- Características físicas: as impurezas do ponto de vista físico estão associadas, em sua maior parte, aos sólidos presentes na água. Estes sólidos podem estar em suspensão, coloidais ou dissolvidos, dependendo do seu tamanho.
- Características Químicas: as características químicas de uma água podem ser interpretadas através de uma das duas classificações: matéria orgânica ou inorgânica.
- Características biológicas: os seres presentes na água podem ser pertencentes aos reinos animal e vegetal, além dos protistas.

2.1. O microrganismo no ambiente aquático

De acordo com Branco (1974), a maioria das pessoas tem demonstrado rejeição total com relação aos microorganismos, agindo como se na realidade todos fossem transmissores de doença, porém, na verdade, apenas uma pequeníssima porção deles se comporta como tal.

Conforme Pelczar; Chan; Krieg (1996), as águas naturais podem servir como habitat para muitos microrganismos. Elas podem habitar na água doce (lagos, açudes, nascentes, pântanos e rios), no mar (oceanos) ou nos estuários, região entre as fontes de água doce e dos oceanos.

Segundo Branco (1974), não se tinham conhecimento de microrganismos, até meados do século XVII. Por meio da iniciativa do holandês Antony Van Leeuwenhoeck, profundo conhecedor e construtor de microscópios, é que veio à tona, a partir da década de 1670, um mundo novo, constituído de seres vivos que não podiam ser vistos sem auxílio das lentes. Logo em seguida, passou-se a suspeitar da possibilidade de serem alguns desses pequenos seres os causadores de doenças no homem. Essa possibilidade, entretanto, somente ficou definitivamente comprovada já no século XIX, na década de 1870, através dos trabalhos de Robert Koch.

Segundo Pelczar; Chan; Krieg (1996), as diferentes variedades de microrganismos encontrados em um ambiente aquático são, de forma ampla, determinados pelas condições físicas e químicas que prevalecem naquele ambiente. Essas condições ambientais variam de um extremo a outro em relação a fatores como temperatura, luminosidade, pH e nutrientes.

É importante ressaltar uma particularidade relacionada aos seres parasitas ou patogênicos: sempre a vida parasitária constitui-se de uma adaptação altamente especializada. A sobrevivência do ser é normalmente às custas de outro, desenvolvendo-se através de um processo de seleção que envolve muitas gerações, uma série de aptidões e até mesmo estruturas especiais que tornaram possível esse modo de vida; por outro lado, porém, tais organismos, via de regra, perderam características e capacidades que lhes permitiriam viver de outra forma. Segundo Branco, 1974, como conseqüência, a quase totalidade dos seres patogênicos é incapaz de viver ou reproduzir-se nos ambientes normais fora do organismo que normalmente lhe serve de hospedeiro. Em outras palavras, o ser patogênico uma vez afastado do ser parasitado terá vida muito limitada a não ser que encontre – dentro de um prazo específico para cada espécie – um novo hospedeiro. Dessas considerações preliminares podemos extrair as seguintes lições:

- A grande maioria dos seres microscópios que habita o solo, o ar ou às águas, tem vida livre e não parasitária (Branco, 1974);
- Os seres patogênicos têm vida obrigatoriamente parasitária não fazendo parte – a não ser esporadicamente – das comunidades naturais de seres de vida livre. Assim sendo, sempre que se identificam microorganismos patogênicos em um meio natural, como por exemplo a água de um rio, é porque eles foram aí introduzidos juntamente com matérias eliminadas pelo organismo parasitado (Branco, 1974).

Somente no século XIX a água foi reconhecida como meio de transmissão de doenças. Em 1849, o médico John Snow estabeleceu ser a água o meio pelo qual a cólera era transmitida ao ser humano. Segundo White (1986), Snow comprovou sua teoria em um episódio acontecido em 1854 na cidade de Londres. Após mapear as mortes ocorridas durante a epidemia de cólera, Snow constatou que todas ocorreram em um raio de 230m nas cercanias da estação de Broad Street, localizada em Londres. Assim, ao remover a bomba hidráulica que distribuía a água, impediu a comunidade local de se abastecer da fonte. Esse ato resultou na estabilização imediata do número de infectados pela epidemia de cólera, que, até então, ceifara cerca de 500 vidas. Após os estudos de Snow, sucederam-se a identificação e a classificação dos agentes patogênicos causadores de diversas doenças de veiculação hídrica, como a febre tifóide !1880), a cólera (1884), a desinteria (1898) e a febre paratifóide (1900), (DANIEL, 2001).

Doenças Infecciosas que têm como veículo a água ocorrem quando um microrganismo infeccioso é adquirido por meio da água contaminada por matéria fecal, contendo patógenos humanos ou de animais. Quando esses patógenos contaminam a rede de abastecimento público ou outras fontes de água potável utilizadas principalmente por comunidades, podem surgir surtos epidêmicos de doenças intestinais, afetando um elevado número de consumidores em pouquíssimo tempo. A descoberta da fonte de contaminação, associada a vários casos, auxilia na determinação da origem de tais epidemias.

Têm sido apontados como responsáveis por enfermidades veiculadas pela água e alimentos, as bactérias, vírus, protozoários e helmintos. Sabe-se que muitas dessas doenças são de natureza gastrintestinal, porém algumas podem afetar outras partes do organismo, tais como os músculos, o sistema nervoso ou órgãos como o coração. A distinção entre infecções via alimentos e as transmitidas por água não está claramente definida, já que alguns agentes patogênicos (por exemplo, o bacilo da febre tifóide) podem ser transmitidos tanto por alimentos quanto por água.

2.1.1. Principais microrganismos de interesse

Não sendo habitantes naturais do meio aquático, os microrganismos patogênicos, são provenientes, principalmente, de dejetos de indivíduos humanos doentes ou portadores dos mesmos. Estes microrganismos podem atingir o ser humano, através da ingestão ou contato com a água, causando-lhe doença ou o tornando um portador. Estas doenças podem ser degenerativas, como a arteriosclerose, cuja ação orgânica não vai além da própria vítima, ou transmissíveis, como a gripe, que passa de uma pessoa para outra.

As doenças transmissíveis são causadas por parasitas, como certos tipos de bactérias, protozoários, helmintos, fungos e vírus. Estes microrganismos podem, uma vez inseridos no ambiente interno do corpo humano, produzir disfunções caracterizando-se como doença.

Segundo Von Sperling (1996), diversas funções são desempenhadas pelos microrganismos, até de fundamental importância, principalmente as relacionadas com a transformação da matéria dentro dos ciclos biogeoquímicos.

Segundo Pelczar; Chan; Krieg (1996), a comunidade científica determinou que os microrganismos tiveram origem há aproximadamente 4 bilhões de anos, a partir de um material orgânico complexo em águas oceânicas, ou possivelmente de nuvens que circulavam por nossa primitiva Terra. Como os primeiros indícios de vida na Terra, os microrganismos são considerados ancestrais de todas as outras formas de vida.

A respeito das contaminações biológicas, é conhecido que o meio aquático é habitado por um grande número de seres vivos, tanto vegetais, como animais. Nesse meio, encontram-se os microrganismos, entre os quais aqueles tipicamente aquáticos ou os que são inoculados na água a partir de uma inserção exterior.

Interessa a este estudo apenas os microorganismos patogênicos que, não sendo habitantes normais do meio aquático são eventualmente ali introduzidos, “infectando-os”. Evidentemente, serão de maior interesse nesse trabalho, aqueles que, servindo-se da água como veículo, venham a parasitar o homem e animais que se alimentam dessa água, adquirindo, assim, o caráter de perigo sanitário potencial.

Segundo Pelczar; Chan; Krieg (1996), a água pode colocar em risco a

saúde e a vida se apresentar microrganismos patogênicos. Os patógenos mais frequentemente transmitidos pela água são aqueles que causam infecções do trato intestinal. Como exemplos, podem ser citados os agentes etiológicos de febre tifóide e paratifóides, shigelose, cólera, campilobacteriose, enterites virais e amebíase. Esses microrganismos estão presentes nas fezes ou na urina de uma pessoa infectada e, quando descartados, podem entrar em um corpo de água que pode servir como fonte de água potável. No quadro 1 é mostrado a relação dos microrganismos de interesse na Engenharia Ambiental.

QUADRO 1 - Principais microrganismos de interesse da engenharia ambiental.

Microrganismo	**Descrição**
Bactérias	-Organismos monera unicelulares -Apresentam-se de várias formas e tamanhos -São os principais responsáveis pela estabilização da matéria orgânica. -Algumas bactérias são patogênicas, causando principalmente doenças intestinais.
Algas	-Organismos autotróficos, fotossintetizantes, contendo clorofila. -Importantes na produção de oxigênio nos corpos d'água e em alguns processos de tratamento de esgotos. -Em lagos e represas, podem proliferar em excesso, causando uma deterioração da qualidade da água.
Fungos	-Organismos aeróbios, multicelulares, não fotossintéticos, heterotróficos. -Também de grande importância na decomposição da matéria orgânica. -Podem crescer em condições de baixo pH.
Protozoários	-Organismos unicelulares sem parede celular. -A maioria é aeróbia ou facultativa. -Alimentam-se de bactérias, algas e outros microrganismos. -São essenciais no tratamento biológico para manutenção de um equilíbrio entre os diversos grupos. -Alguns são patogênicos.
Vírus	-Organismos parasitas, formados pela associação de material genético (DNA ou RNA) e uma carapaça protéica. -Causam doenças e podem ser de difícil remoção no tratamento da água ou do esgoto.
Helmintos	-Animais superiores. -Ovos de helmintos presentes nos esgotos podem causar doenças.

Fonte: Adaptado de Von Sperling (1996).

2.2. Doenças de veiculação hídrica

2.2.1. Epidemiologia

De acordo com Rouquayrol (1994), a epidemiologia pode ser entendida e definida como ”a ciência que estuda o processo saúde-doença na comunidade, analisando a distribuição e os fatores determinantes das enfermidades e dos agravos à saúde coletiva, propondo medidas específicas de prevenção, de controle ou de erradicação”.

Assim sendo, entende-se que o objetivo da epidemiologia tem sido o de monitorar a propagação das doenças com a finalidade de cessar ou controlar sua multiplicação, partindo-se da identificação de seu agente etiológico e do mecanismo de transmissão.

Através da conceituação evidenciada por Rouquayrol (1994), apud Mota (1997), é possível se ter um maior entendimento dos aspectos envolvidos na propagação das doenças de veiculação hídrica. Para um melhor entendimento do assunto, convém descrever a definição dos seguintes termos:

- **Ambiente** – Conjunto de todos os fatores que mantêm relações interativas com o agente etiológico e o susceptível, sem se confundir com os mesmos; além de incluir o ambiente físico, que abriga e torna possível a vida autotrófica, o ambiente biológico, que abrange todos os seres vivos, deve incluir também o ambiente social, sede de fatores que podem ser associados a doença (ROUQUAYROL, 1994, apud MOTA, 1997).
- **Agente etiológico** – Causador da doença. Pode ser um ser vivo (organismo patogênicos), denominando-se agente infeccioso, ou de natureza inanimada (poluentes químicos, radiações, drogas). Nas doenças infecciosas, o agente etiológico é um ser vivo (ROUQUAYROL, 1994, apud MOTA, 1997).
- **Agente infeccioso** – Ser vivo, ricketsial, bacteriano, fúngico, protozoário ou helmíntico, que, através de uma das formas que assume no seu ciclo reprodutivo (adulto, larva, cisto, ovo, esporo, etc.) pode ser introduzido em outro ser vivo, podendo causar doença infecciosa. Pode ser definido como agente etiológico vivo ou bioagente patogênico (ROUQUAYROL, 1994, apud MOTA, 1997).
- **Hospedeiro** – Homem ou outro animal vivo, inclusive aves e artrópodes, que ofereça, em condições naturais, subsistência ou alojamento a um agente infeccioso (ROUQUAYROL, 1994, apud MOTA, 1997).
- **Doenças Infecciosas** – Doença clinicamente manifesta do homem ou dos animais, resultado de uma infecção. Infecção é uma penetração e desenvolvimento ou multiplicação de um agente infeccioso no organismo de uma pessoa ou animal. Por sua vez,

doença não infecciosa é aquela que não resulta de infecção (ROUQUAYROL, 1994, apud MOTA, 1997).

- **Reservatório** – de agentes infecciosos – É o ser humano ou animal, artrópode, planta, solo ou matéria inanimada (ou uma combinação desses), em que um agente infeccioso normalmente vive e se multiplica em condições de dependência primordial para a sobrevivência, e no qual se reproduz, de modo a poder ser transmitido a um hospedeiro susceptível (ROUQUAYROL, 1994, apud MOTA, 1997).
- **Vetores** – são seres vivos que veiculam o agente desde o reservatório até o hospedeiro potencial. Os vetores mecânicos, são apenas transportadores de agentes infecciosos, pois carreiam o agente através das patas, probócidas ou asas, ou pela passagem do microrganismo através do trato gastrointestinal. Neles, os parasitas não se multiplicam nem sofrem quaisquer modificações no seu interior. Vetores biológicos: são aqueles nos quais os microrganismos desenvolvem obrigatoriamente uma fase do seu ciclo vital, antes de serem disseminados no ambiente ou inoculados em um novo hospedeiro (ROUQUAYROL, 1994, apud MOTA, 1997).

O quadro 2 apresenta as principais doenças relacionadas com a água.

QUADRO 2 - Principais doenças associadas com a água.

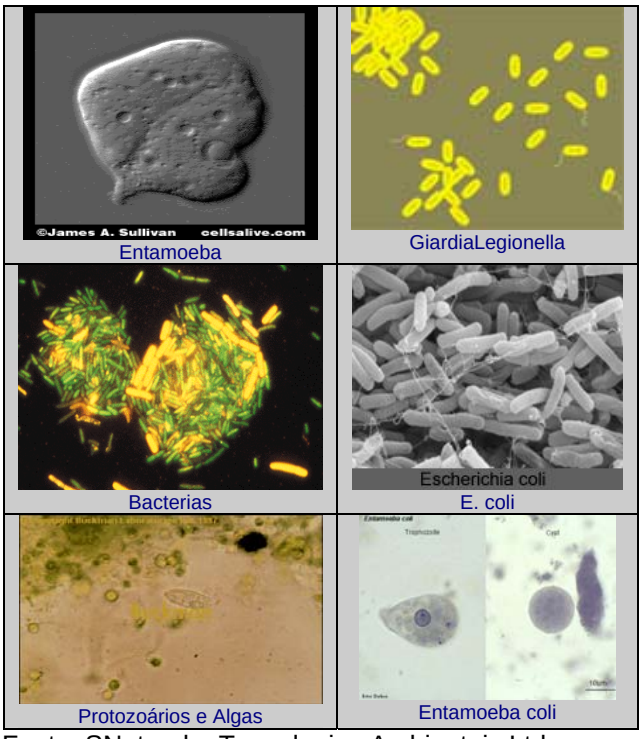
Mecanismo de transmissão	**Doença**	**Agente causal**	**Sintomas**
Ingestão de água contaminada	Desinteria bacilar	Bactéria (Shigella dysenteriae)	Forte diarréia
	Cólera	Bactéria (Vibrio cholerae)	Diarréia extremamente forte, desidratação, alta taxa de mortalidade
	Leptospirose	Bactéria (Leptospira)	Icterícia, febre
	Salmonelose	Bactéria (Salmonella)	Febre, náusea, diarréia
	Febre tifóide	Bactéria (Salmonella typhi)	Febre elevada, diarréia, ulceração do intestino delgado
	Desinteria amebiana	Protozoário (Entamoeba histolytica)	Diarréia prolongada, com sangramento abscessos no fígado e intestino fino
	Giardíase	Protozoário (Giárdia lambia)	Diarréia leve a forte, náusea, indigestão flatulência

QUADRO 2 - Principais doenças associadas com a água (cont.).

Ingestão de água contaminada	Hepatite infecciosa	Vírus (vírus da hepatite A)	Icterícia, febre
	Gastroenterite	Vírus (enterovírus, parvovírus, rotavírus)	Diarréia leve a forte
	Paralisia infantil	Vírus (Poliomielites vírus)	Paralisia
Contato com água contaminada	Escabiose	Sarna (sarcoptes scabiel)	Úlceras na pele
	Tracoma	Clamídea (Chlamydia tracomatis)	Inflamação dos olhos, cegueira completa ou parcial
Verminose, tendo a Água como um estágio no Ciclo	Esquistossomose	Helminto (Schistosoma)	Diarréia, aumento do baço e do fígado, hemorragia
Transmissão através de insetos, tendo a água como meio de procriação	Malária	Protozoário (Plasmodium)	Febre, suor, calafrios, gravidade variável com o tipo de Plasmodium
	Febre amarela	Vírus (Flavivírus)	Febre, dor de cabeça, prostação, náusea, vômitos
	Dengue	Vírus (Flavivírus)	Febre, forte dor de cabeça, dores nas juntas e músculos, erupções

Fonte: Adaptado de Von Sperling (1996).

A figura 1 apresenta fotos de alguns microrganismos causadores de enfermidades, que exercem grande interesse da engenharia ambiental devido a alta incidência destes organismos nas águas contaminadas.



Fonte: SNatural – Tecnologias Ambientais Ltda.
FIGURA 1 – Alguns microrganismos patogênicos.

2.3. Microrganismos Indicadores da qualidade da água

De acordo com as recentes regulamentações internacionais dos padrões de potabilidade das águas, pode-se concluir que há uma preocupação especial com a presença de novos contaminantes orgânicos e inorgânicos, bem como a introdução de vários subprodutos que possam ser originados pelo próprio processo de tratamento utilizado.

Segundo Daniel (2001), a identificação e quantificação de todos os microrganismos patogênicos potencialmente presentes na água é inviável, demanda tempo, tem custos elevados e nem sempre se consegue resultados confiáveis que comprovem a presença do microrganismo. Este fato leva a questionar qual microrganismo seria o mais indicado para designar a qualidade da água examinada, uma vez que, a realização de análises que abrangem todos os microrganismos se mostra impraticável, tanto técnica como economicamente.

Estes exames devem ser concluídos de forma rápida, haja vista que, com base em seus resultados, medidas corretivas e ou preventivas deverão ser tomadas. Por este motivo se faz necessária a utilização de um microrganismo que garanta

com alguma segurança a qualidade da água, ou seja, que a água poderá ser consumida com risco mínimo para a população quando o microrganismo indicador não estiver presente. A probabilidade de existência de microrganismos patogênicos na água, se faz por contagem de microrganismos não patogênicos, produzidos em grande numero no intestino, sendo uma referência, no lugar de uma contagem real de patógenos.

O uso de microorganismos indicadores se deve as seguintes razões:

- O ser humano os produz em grande quantidade, cerca de bilhões por dia/individuo. Evidentemente aparecendo nas fezes, com grande probabilidade de serem encontrados na água;
- São encontrados apenas nas fezes de animais de sangue quente ou homeotermos, classe que inclui o homem e todos os mamíferos. Essa característica é importante, pois uma vez identificada a sua presença, pode-se afirmar que a água teve contato com excretas desses animais;
- Do ponto de vista da resistência às condições ambientais (temperatura e outros agentes desinfetantes), são muito semelhantes aos microorganismos patogênicos intestinais. Trata-se de característica importante, pois se fossem mais suscetíveis (sobrevivessem menos tempo que os patogênicos), não poderiam ser identificados, isto é, não seriam indicadores. Se fossem menos suscetíveis (sobrevivessem por mais tempo), poderia aparecer em águas já livres dos patogênicos;
- Sua identificação, do ponto de vista laboratorial, requer técnicas simples e econômicas, ao contrário daquelas necessárias à identificação dos microorganismos patogênicos.

Os organismos usados como referência pertencem a um grupo de bactérias chamados “Coliformes” dividido em três sub-grupos: coliformes totais, coliformes fecais e estreptococos fecais.

Os Coliformes Totais reúnem um grande número de bactérias, entre elas a Eschrichia Coli, de origem exclusivamente fecal e que dificilmente se multiplica fora do trato intestinal. O problema é que outras bactérias dos gêneros Citrobacter, Eriterobacter e Klebsiella, igualmente identificadas pelas técnicas laboratoriais como coliformes totais, podem existir no solo e nos vegetais. Desta forma, não é possível

afirmar categoricamente que uma amostra de água com resultado positivo para coliformes totais tenha entrado em contato com fezes.

Os microorganismos que aparecem exclusivamente no trato intestinal, pertencem ao subgrupo dos Coliformes Fecais. Em laboratório, a diferença entre coliformes totais e fecais é feita através da temperatura (os coliformes fecais continuam vivos mesmo a 44ºC, enquanto os coliformes totais têm crescimento a 35ºC). Sua identificação na água permite afirmar que houve presença de matéria fecal, embora não exclusivamente humana.

Os Estreptococos Fecais, embora sua identificação não seja rotina em laboratórios de análise de água, trata-se de um subgrupo importante, já que fazem parte dele as espécies do gênero *Streptococcus spp*. que ocorrem apenas no trato intestinal do homem e de animais de sangue quente, como os Coliformes Fecais.

2.3.1. Padrão de potabilidade

Para se determinar a qualidade, a potabilidade e os usos que devem ter as águas de fontes diferentes, se faz necessária a realização de análises físicas, químicas e microbiológicas, em laboratório especializado.

As características que delimitam o modelo da água destinada ao abastecimento humano, denominadas padrões de potabilidade, compreendem critérios essenciais e critérios complementares. Os primeiros dizem respeito, principalmente, à proteção contra contaminações por microrganismos patogênicos e contra a poluição por substâncias tóxicas ou venenosas. Já os critérios complementares visam o controle da qualidade no que diz respeito ao aperfeiçoamento da água em aspectos estéticos, organolépticos, econômicos etc., que embora desejáveis, não são essenciais à proteção da saúde pública (cor, sabor, odor, turbidez, dureza, corrosividade etc) (SANTOS, 1997).

A qualidade microbiológica de uma água destinada ao abastecimento humano deverá seguir os padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria nº 518 (BRASIL, 2004). Conforme o Art.11 do Ministério da Saúde, a água potável deve estar em conformidade com o padrão microbiológico mostrado na Tabela 1.

TABELA 1 - Padrão microbiológico de potabilidade da água para consumo humano.

Parâmetro	***INDICADOR***	***VMP(1)***
Água para consumo humano(2)	Escherichia coli ou coliformes termotolerantes(3)	Ausência em 100ml
Água na saída do tratamento	Coliformes totais	Ausência em 100ml
Água tratada no sistema de distribuição (reservatórios e rede)	Escherichia coli ou coliformes termotolerantes(3)	Ausência em 100ml
	Coliformes totais	Sistemas que analisam 40 ou mais amostras por mês: Ausência em 100ml em 95% das amostras examinadas no mês. Sistemas que analisam menos de 40 amostras por mês: Apenas uma amostra poderá apresentar mensalmente resultado positivo em 100ml.

Fonte: Adaptado da portaria No. 518 do Ministério da Saúde

NOTAS:

(1) Valor Máximo Permitido.

(2) água para consumo humano em toda e qualquer situação, incluindo fontes individuais como poços, minas, nascentes, dentre outras.

(3) a detecção de Escherichia coli deve ser preferencialmente adotada.

2.4. Desinfecção da água

A desinfecção das águas para abastecimento humano e residuárias consiste no emprego de um agente físico ou químico (desinfetante) para inativar os microorganismos patogênicos que possam transmitir doenças através desse meio. A desinfecção é um processo seletivo: não destrói todos os microorganismos e nem sempre elimina todos os organismos patogênicos, mas deve eliminar todos os germes que devem ser afastados (AZEVEDO NETTO, 1974).

A desinfecção de água de abastecimento é uma medida que data no início do século XX, e sua importância para a saúde pública tem sido demonstrada na teoria e na prática. Oliveira (1976) comenta a respeito da importância para a saúde pública um caso clássico ocorrido no Brasil, o decaimento do coeficiente de

mortalidade por febre tifóide observado no município de São Paulo, a partir de 1926, ano da implantação da cloração das águas da capital paulista.

O controle de diversas doenças de veiculação hídrica inviabiliza-se pelo fato de apresentarem reservatórios na natureza e no reino animal – animais nos quais se multiplicam os agentes patogênicos–, explicando parcialmente a extensiva disseminação das mesmas no planeta. Contudo, os indivíduos assintomáticos, portadores que não apresentam sintomas da moléstia, constituem os principais contaminadores das águas naturais (DANIEL, 2001).

Segundo Reiff; WIitt (1995), o desinfetante deve apresentar algumas particularidades para que seja adequado na desinfecção de água para consumo humano, tais como:

- dentro de um tempo determinado, destruir ou inativar os microrganismos patogênicos presentes na água;
- as análises para determinar a concentração do desinfetante na água devem ser simples, rápidas e apropriadas, tanto no campo como no laboratório (Reiff; Wiitt, 1995);
- o desinfetante deve ser seguro para ser usado nas condições em que se encontra a água de abastecimento(Reiff; Wiitt, 1995);
- deve manter uma concentração de residual adequado no sistema de distribuição de água, para evitar a recontaminação por microrganismos que se reproduzem(Reiff; Wiitt, 1995);
- não possibilitar a produção de substâncias tóxicas; se presente em baixos valores, não deve de nenhuma forma alterar as características da água(Reiff; Wiitt, 1995);
- o equipamento deve ser razoavelmente seguro, fácil de manusear e aplicação nas situações em que se prevê o uso;
- o custo do equipamento, instalação, operação e manutenção , assim como a aquisição e manejo de materiais necessários para uma desinfecção eficaz deve ser razoável(Reiff; Wiitt, 1995).

Em suma a desinfecção implica na exposição dos microrganismos a condições físicas ou químicas a fim de deter seu crescimento e/ou destruí-los. Na realidade, o que se observa são populações de organismos e não de indivíduos e isto resulta em um efeito cinético, onde o critério de morte de um microorganismo é a perda irreversível da habilidade de reproduzir-se.

2.4.1. Agentes de Desinfecção

Existem basicamente dois tipos de agentes de inativação de patógenos utilizados nos processos de desinfecção: o físico e o químico. Conforme Jyoti; Pandit (2003), a variedade de técnicas físicas e químicas que são rotineiramente usadas para a desinfecção de água incluem cloração, ozonização e luz ultravioleta. Outras técnicas incluem a combinação de dois ou mais métodos de desinfecção como o avançado processo de oxidação. Outras tecnologias emergentes incluem a filtração por membrana, desinfecção por íons de cobre e prata, processo fotocatalítico e radiação gama.

Destas técnicas físicas e químicas destacam-se, como largamente utilizados no tratamento de água, o cloro (sob diversas formas), o ozônio e a radiação ultravioleta. A nível domiciliar, a fervura da água ainda ocupa lugar de destaque, apesar do elevado consumo de energia.

Comenta Daniel (2001), que devem ser considerados outros fatores na escolha do produto/processo de desinfecção, destacando-se custos, poder de desinfecção, facilidade de aplicação/manuseio e ação residual, isto é, se o agente desinfetante continua sua ação depois de ter sido aplicado .

a) Desinfetantes Químicos

A desinfecção química caracteriza-se pelo uso de produtos químicos, como exemplos: ozônio, peróxido de hidrogênio, permanganato de potássio, ácido peracético, iodo, íons metálicos, ferratos, processos oxidativos avançados, dióxido de cloro, MOGGOD, derivados clorados (orgânicos e inorgânicos), bromo (MACÊDO, 2004).

Em relação ao ozônio, Bryant; Fulton; Budd (1992) apud Monteiro (1999) acreditam que o principal mecanismo de inativação está associado ao forte poder oxidante desse composto, que tem a capacidade de interromper a função da membrana celular das bactérias e de atacar a camada de proteção dos vírus. Os mecanismos de ação, tanto do cloro como do ozônio, sobre os protozoários (e.g.: *Giardia e Cryptosporidium*) não são discutidos por esses autores. Entretanto, o ozônio tem-se mostrado mais efetivo no combate aos cistos de *Giardia* do que o

cloro livre, que, por sua vez, é mais poderoso do que o dióxido de cloro e as cloraminas.

O uso de derivados clorados de origem inorgânica, como o gás cloro, hipoclorito de sódio, hipoclorito de cálcio e dos derivados clorados de origem orgânica, cujos principais representantes são o dicloro isocianurato de sódio e o ácido tricloroisocianúrico, tem contribuído para o controle das doenças de origem hídrica e alimentar, do processo de desinfecção de pisos, equipamentos e utensílios em áreas de industriais e de residências e no tratamento de água para abastecimento público (MORRIS, 1996, apud MACÊDO, 2004).

Porém, a relatos que trazem a tona a problemática do uso do cloro e a formação de substâncias cancerígenas, conforme Macêdo (1999), tais substâncias são denominadas subprodutos da cloração, dentre elas destacam-se os trihalometanos (THM), que se originam das reações entre o cloro e as substâncias orgânicas, os ácidos húmicos e fúvicos, presentes na água.

b) Desinfetantes Físicos

A desinfecção física é caracterizada por ações de irradiação de luz Ultravioleta (UV), calor (fervura), som (cavitação acústica), dentre outros. Vale ressaltar que, o hábito de ferver a água para consumo humano têm sido empregado e considerado, ainda, em áreas desprovidas de outros recursos, como o método mais seguro de tratamento para água de beber.

Para a radiação UV, segundo Wright; Cairns (1998), as aplicações práticas requeridas para o início de seu uso começaram em 1901, quando se conseguiu produzir esta luz artificialmente. Apenas quando se comprovou que o quartzo era uma dos poucos materiais que possibilitava transparência quase total a luz UV e que permitiu o uso do quartzo como invólucro protetor dos tubos das lâmpadas. A partir daí considerou-se está técnica para a desinfecção de águas para consumo humano. Os primeiros intentos experimentais aconteceram em Marseilla, França, 1910. Entre 1916 e 1926, o uso de UV nos Estados Unidos foi iniciado para prover água potável nos barcos. Seu desenvolvimento foi embargado devido à popularidade do cloro e seus derivados associados com seu baixo custo de aplicação, que fizeram com que se retardassem a produção de equipamentos confiáveis, de UV, até a década de 50,

mas só a partir da década de 70 foi que se começaram a ser verdadeiramente confiáveis e de vida prolongada.

Os mecanismos de ação da radiação UV sobre os microorganismos são diferentes daqueles dos agentes desinfetantes químicos. O mecanismo predominante é, supostamente, o da alteração do DNA das células, tornando o organismo incapaz de reproduzir-se. Desta forma, o organismo é inativado com relação a sua capacidade de proliferação e transmissão da doença (Bryant *et al.*, 1992, apud Monteiro, 1999). Nas condições usuais de exposição, a radiação ultravioleta é capaz de inativar bactérias e vírus patógenos, porém não se mostra adequada à inativação de protozoários, cistos de protozoários e ovos de nematóides (Reiff; Witt, 1995, apud Monteiro, 1999). Para efetiva inativação desses microorganismos a intensidade da radiação e/ou o tempo de detenção devem ser aumentados.

2.4.2. Panorama da desinfecção

A prevalência das doenças de veiculação hídrica, notadamente na América Latina, África e Ásia, constitui um forte indicativo da fragilidade dos sistemas públicos de saneamento. Tal fragilidade materializa-se na ausência de redes coletoras de esgotos e, principalmente, na qualidade da água distribuída à população, quando os sistemas de abastecimentos se fazem presentes. A conjunção desses fatos concorre, embora não isoladamente, para a manutenção dos índices de mortalidade infantil do Brasil entre os mais elevados do continente (DANIEL, 2001).

Os países em desenvolvimento enfrentam sérios problemas com a alta incidência de doenças relacionadas com a falta de saneamento básico, sendo mais afetadas as populações que vivem em localidades pobres, periféricas, e em zonas rurais. Estes locais, por não possuírem sistemas de esgoto ou drenagem, despejam uma elevada carga orgânica em corpos d’água, muitos dos quais servem de abastecimento de água sem nenhum tratamento antes do seu consumo. Como conseqüência, depara-se com um ciclo vicioso, onde o homem ingere uma água que está contaminada, contamina-se, e, depois, com seus dejetos, contamina a água.

Segundo Geldreich; Craun (1996), apud Rojas Vargas, (1998) o maior impacto da degradação da qualidade das águas sobre a saúde pública ocorre através da ingestão de água. Esta degradação pode ser resultante do lançamento de diversos tipos de águas residuárias, porém os despejos de origem humana e animal são os que mais fortemente contribuem com agentes de doenças relacionadas com a água. Estima-se que 80% das doenças e mais de um terço das disfunções ocorridas nos países da América Latina estão associadas com a água, e que nada menos do que um décimo do tempo produtivo de um indivíduo é perdido como conseqüência dessas doenças.

Segundo Wegelin *et al.* (1994), Apud Monteiro (1999), pelo menos um terço da população dos países em desenvolvimento não tem acesso a suprimentos de água confiáveis e seguros, e, desta forma, esta população está sujeita a diversos problemas de saúde pública, em particular, às doenças de veiculação hídrica. Para superar este quadro, os investimentos necessários são muito grandes, e, freqüentemente não estão disponíveis, especialmente nos países subdesenvolvidos e em desenvolvimento. Buscando promover água potável para as comunidades, estes países buscam desenvolver projetos alternativos e de baixo custo para o tratamento de água.

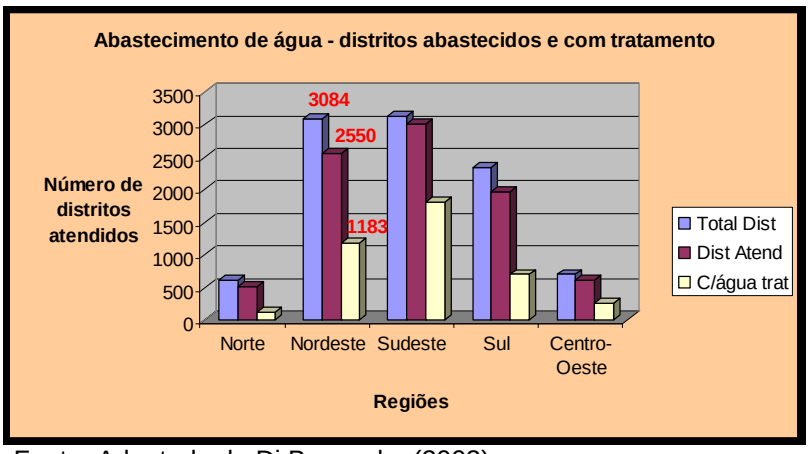
Deve ser considerado o conceito de múltiplas barreiras à contaminação, para diminuir o risco à saúde das populações, conceito que envolve a proteção dos mananciais, o tratamento de águas residuárias e o próprio tratamento da água. Dentro deste conceito, a desinfecção é uma barreira de importância fundamental.

Em estudo realizado pela Organização Pan-Americana de Saúde (OPAS) em 1984, verificou-se que a desinfecção era inadequada ou inexistente em 75% dos sistemas de água na América Latina e Caribe, e que apenas 25% da população recebia água desinfetada através de métodos confiáveis. Ainda segundo este estudo, a confiabilidade da desinfecção nas pequenas e médias cidades era consideravelmente inferior a dos grandes municípios, e mais de 90% das comunidades com menos de 10.000 habitantes careciam totalmente de sistemas de desinfecção. Dados mais recentes, coletados pela OPAS em 1994, sugerem que cerca de 59% da população dos dezessete países da América Latina e Caribe que forneceram informações adequadas recebem água desinfetada em mais do que 98% do tempo (REID,1998).

A desinfecção da água tem sido reconhecida como uma das barreiras mais importantes para proteger a saúde dos seres humanos. É importante que a desinfecção se combine com a proteção da fonte e a um tratamento apropriado, se for necessário. Assim mesmo, sem um saneamento adequado, se produzirá contaminação fecal de águas correntes, o que facilitará a continuidade da propagação de enfermidades transmitidas pela água. Por isto, as boas práticas higiênicas e a educação sanitária são complementos necessários para qualquer programa de sustentabilidade de redução de riscos para a saúde associados com a água potável e saneamento.

Observa-se que a maioria da população que não tem acesso aos serviços de saneamento está na zona rural, nos pequenos municípios sem capacidade de geração de recursos, e nas zonas marginalizadas dos grandes centros urbanos. Wegelin *et al.* (1994), apud Monteiro (1999) sugere que, para prover água para essas comunidades, é essencial que se reduzam os custos dos sistemas de abastecimento de água através do uso de tecnologias apropriadas e de baixo custo, e também se instalem sistemas cuja operação e manutenção possam ser gerenciadas e sustentadas com recursos locais.

Segundo Di Bernardo (2003), no Brasil o serviço de abastecimento de água abrange 58% em todas as regiões do País, contudo é importante deixar claro que esses resultados merecem cuidados ao serem analisados. Pois, a qualidade da água muitas vezes não é levada em conta. De acordo com a figura 2 é possível um melhor entendimento dos distritos que são atendidos por águas com tratamento e os que são atendidos por água sem tratamento.



Fonte: Adaptado de Di Bernardo, (2003).
FIGURA 2 – Abastecimento de água – distritos abastecidos e com tratamento.

Considerando este quadro, particularmente quando se pensa na zona rural e em pequenas comunidades, uma opção tecnológica a ser considerada é a adoção de sistemas de abastecimento de água individuais (unifamiliares) ou de pequeno porte (multifamiliares), com alternativas tecnológicas seguras para tratamento, desinfecção e reservação domiciliares de água, mas que, ao mesmo tempo, levem em conta a realidade social, cultural e econômica das populações.

A desinfecção através da cavitação, estudada nesta pesquisa, deve ser introduzida neste contexto, como uma alternativa de desinfecção da água independente de insumos, sem a geração de subprodutos, operação simplificada e ampla fixa de inativação de patógenos, pois provoca a ebulição da água em processo, produzindo vapor saturado, caracterizando-se como um mecanismo de inativação de microrganismos.

2.5. CAVITAÇÃO

2.5.1. Fundamentos da mecânica dos fluidos

Os líquidos apresentam algumas propriedades que aparecem nos gases e algumas que aparecem nos sólidos: fluem facilmente sob a ação de qualquer força e como os sólidos, são densos, relativamente incompressíveis e suas propriedades são determinadas pela natureza e intensidade das forças intermoleculares. Em relação à estrutura microscópica, o fato de os líquidos serem isotrópicos significa que não têm estrutura organizada como os sólidos, mas como têm densidades, em geral, apenas cerca de 10% menor do que as dos correspondentes sólidos, suas moléculas devem estar arrumadas com certa regularidade, não apresentando o caos associado aos gases.

Quando uma substância passa do estado sólido para o estado líquido, na maioria dos casos, o volume aumenta cerca de 10%. E com o aquecimento, o líquido experimenta uma expansão (dilatação) contínua. Este aumento de volume após a fusão é uma conseqüência do aumento da separação média das moléculas e de um ligeiro decréscimo na efetividade das forças intermoleculares.

Em um líquido, as moléculas, em sua grande maioria, estão densamente empacotadas como representado na figura 3b, mas sem a estrutura reticular dos sólidos representada na figura 3a. No líquido, existem regiões onde os arranjos moleculares são empacotamentos densos quase perfeitos e regiões onde as moléculas têm menos vizinhos. Esta irregularidade introduz vazios que, devido ao movimento desordenado das moléculas, não têm posição, forma ou tamanho fixos. Estes vazios fazem com que a distância média entre as moléculas do líquido seja maior do que a do sólido, de modo que a correspondente energia potencial intermolecular média é também maior. Por isso, por exemplo, que se deve fornecer energia para que a substância passe do estado sólido para o estado líquido.

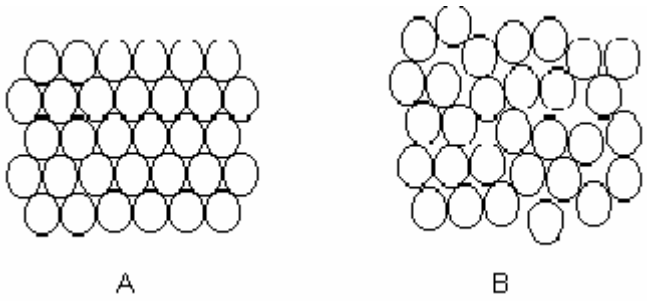


Figura 3a – Empacotamento molecular nos sólidos

Figura 3b – Empacotamento molecular nos líquidos

Existem outras propriedades dos líquidos que podem ser explicadas em termos de sua estrutura desordenada. Por exemplo, a fluidez. Um sólido normalmente tem uma estrutura rígida e o líquido, uma estrutura que cede facilmente sob a ação de qualquer força aplicada. A deformação de um sólido cristalino perfeito importa em deslocar, ao mesmo tempo, planos de átomos em relação a outros planos, ou seja, romper as ligações entre um grande número de átomos. Este número diminui com o aumento do número de imperfeições no retículo cristalino. Num líquido, existe grande número de imperfeições (ou vazios), de modo que são muitas as possibilidades pelas quais alguns átomos podem se mover simultaneamente, sendo relativamente fracas as forças intermoleculares que se opõem a tal movimento. Uma molécula pode se deslocar para um vazio vizinho deixando outro vazio para ser ocupado por outra molécula, e assim por diante.

A densidade e a viscosidade são importantes propriedades dos líquidos, considerando que ambas interagem com os aspectos que propiciam a ocorrência do fenômeno da cavitação.

Viscosidade nos Líquidos

A viscosidade dos líquidos vem do atrito interno, isto é, das forças de coesão entre moléculas relativamente juntas. Desta maneira, enquanto que nos gases a viscosidade cresce com o aumento da temperatura, nos líquidos ocorre o oposto. Com o aumento da temperatura, aumenta a energia cinética média das moléculas, diminui (em média) o intervalo de tempo que as moléculas passam umas junto das outras, menos efetivas se tornam as forças intermoleculares e menor a viscosidade.

Conforme Hughes; Brighton (1974), para se entender a natureza da viscosidade nos líquidos, suponhamos duas placas sólidas planas, uma sobre a outra, com um fluido contínuo entre elas, conforme mostrado na figura 4. Aplicando uma força $\vec{F}$ constante a uma das placas, a experiência mostra que ela é acelerada o tempo necessário para adquirir uma velocidade terminal (constante) $\vec{v}$. Se a intensidade da força aplicada for duplicada, por exemplo, a velocidade terminal também duplica. A velocidade terminal é proporcional à força aplicada. Pensando que o líquido entre as placas se separa em lâminas paralelas, o efeito da força aplicada é o de produzir diferenças de velocidade entre lâminas adjacentes. A lâmina adjacente à placa móvel se move solidária com ela, ou seja, com velocidade $\vec{v}$, e a lâmina adjacente à placa imóvel está solidária com esta, ou seja, tem velocidade nula. O atrito entre lâminas adjacentes causa dissipação de energia mecânica e causa a viscosidade no líquido.

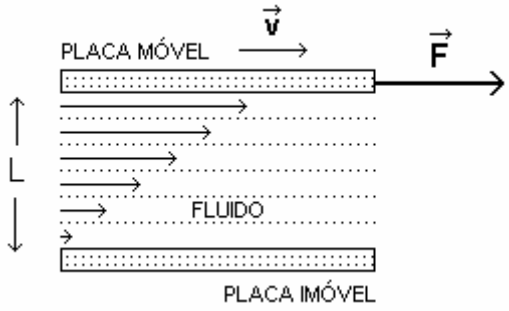


Figura 4 – Representação gráfica da viscosidade em fluidos.

É fato experimental que o módulo da força $\vec{F}$, necessária para manter o movimento da placa com velocidade $\vec{v}$ constante, é diretamente proporcional à área A da placa e ao módulo da velocidade e inversamente proporcional à distância L entre as placas. O chamado coeficiente de viscosidade η do fluido, depende do fluido e da temperatura. Assim, a equação (1), pode ser escrita como:

$$F = \eta A v / L \qquad (1)$$

De acordo com Delmée (2003), a temperatura afeta o volume de todos os líquidos, provocando alteração na densidade. Em conseqüência, um aumento de temperatura aumenta o volume e diminui a densidade.

Pressão e Densidade

Um sólido, sendo rígido, pode experimentar a ação de uma força que atue sobre um ponto. Um fluido, contudo, só experimenta a ação de uma força através de uma superfície. Assim, a grandeza relevante aqui é a pressão, definida como o cociente do módulo da força normal pela área da superfície sobre a qual atua, conforme estabelecida pela equação (2).

$$P = F / A \qquad (2)$$

com $[P] = [F][A]^{-1} = Nm^{-2} \equiv Pa$ (pascal)

A densidade (ou massa específica) de um corpo é definida como o quociente de sua massa pelo seu volume,conforme estabelece a equação (3).

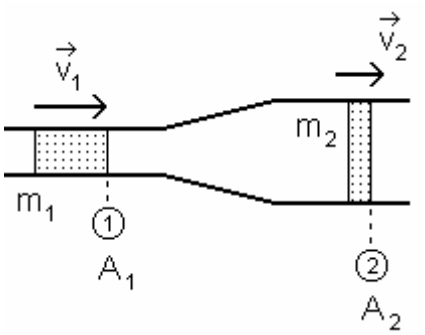
$$\rho = m / V \qquad (3)$$

com $[\rho] = [m][V]^{-1} = kg\,m^{-3}$ ou $g\,cm^{-3}$.

Equação da Continuidade

O fluido pode apresentar escoamento em regime estacionário ou lamelar se, em cada ponto do espaço, ele tem sempre as mesmas velocidade e pressão.

Para um fluido de densidade ρ em escoamento estacionário numa tubulação sem derivações, conforme mostrado na figura 5. As massas de fluido que escoam através das seções 1 e 2, de áreas A_1 e A_2, durante o intervalo de tempo Δt são definidas pelas equações (4).



Fonte: adaptado de Hughes; Brighton (1974).
Figura 5 – Representação gráfica de um fluido em escoamento lamelar.

$$m_1 = \rho A_1 v_1 \Delta t \quad \text{e}$$

$$m_2 = \rho A_2 v_2 \Delta t \tag{4}$$

onde v_1 e v_2 são os módulos das velocidades nas seções 1 e 2, respectivamente. Como não existem derivações, $m_1 = m_2$, de modo que:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad \text{ou} \tag{5}$$

$$Av = \text{constante}$$

Esta é a equação da continuidade (5) e expressa, na hidrodinâmica, o princípio de conservação da massa. A quantidade $Q \equiv Av = V/\Delta t$ é chamada vazão e representa o volume de fluido que escoa através de uma seção reta por unidade de tempo.

<u>Equação de Bernoulli</u>

Para um fluido em escoamento estacionário em uma tubulação, o teorema do trabalho-energia cinética $(W = \Delta E_C)$ permite escrever a equação (7):

$$W_g + W_p = \tfrac{1}{2}m\left(v_2^2 - v_1^2\right) = \tfrac{1}{2}\rho V\left(v_2^2 - v_1^2\right) \qquad (7)$$

Onde m é a massa de um certo volume V de fluido que entra na parte da tubulação considerada com uma velocidade de módulo v_1 e sai com uma velocidade de módulo v_2 e onde:

$$W_g = -mg\left(y_2 - y_1\right) = -\rho Vg\left(y_2 - y_1\right) \qquad (8)$$

$$W_p = -F_2\Delta x_2 + F_1\Delta x_1 = -P_2A_2\Delta x_2 + P_1A_1\Delta x_1 = -\left(P_2 - P_1\right)V \qquad (9)$$

As equações (8) e (9) representam o trabalho devido ao desnível da tubulação e o trabalho do resto do fluido sobre a porção considerada. Substituindo na primeira equação temos:

$$-\rho Vg\left(y_2 - y_1\right) - \left(P_2 - P_1\right)V = \tfrac{1}{2}\rho V\left(v_2^2 - v_1^2\right) \qquad \text{ou} \qquad (10)$$

:

$$P_1 + \rho gy_1 + \tfrac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \rho gy_2 + \tfrac{1}{2}\rho v_2^2 \qquad (11)$$

Esta é a equação de Bernoulli. Uma outra forma de apresentá-la é a seguinte equação (12):

$$P + \rho gy + \tfrac{1}{2}\rho v^2 = \text{constante} \qquad (12)$$

<u>Número de Reynolds</u>

Quando a velocidade de um fluido que escoa em um tubo excede certo valor crítico, o regime de escoamento passa de lamelar para turbulento, exceto em uma camada extremamente fina junto à parede do tubo, chamada camada limite, onde o escoamento permanece laminar. Além da camada limite, onde o escoamento é turbulento, o movimento do fluido é altamente irregular, caracterizado por vórtices locais e um grande aumento na resistência ao escoamento.

O regime de escoamento, se lamelar ou turbulento, é determinado pela seguinte quantidade adimensional, chamada número de Reynolds e representado pela equação (13):

$$N_R = \rho D\bar{v} / \eta \qquad (13)$$

Onde ρ é a densidade do fluido, η, seu coeficiente de viscosidade, $\bar{v}$, o módulo da sua velocidade média de escoamento para frente e D, o diâmetro do tubo. Esta velocidade média é definida como a velocidade uniforme em toda a seção reta do tubo que produziria a mesma vazão.

Verifica-se experimentalmente que o escoamento de um fluido é lamelar se $N_R < 2.000$ e turbulento, se $N_R > 3.000$. Se $2.000 < N_R < 3.000$, o escoamento é instável, podendo mudar de um regime para outro.

2.5.2 Histórico e definições da cavitação

Por meio de investigações experimentais, realizadas pelo cientista Osborne Reynolds, o fenômeno da cavitação foi trazido a tona. Reynolds pesquisou sobre uma grande variedade de assuntos a respeito de engenharia e física. Nasceu em Belfast, cidade da Irlanda, em 23 de agosto de 1842, em meio a uma clerical família Anglicana, vindo a falecer na Inglaterra em 21 de fevereiro de 1912. De 1868 a 1873 sua atenção se voltou para assuntos e problemas de eletricidade, magnetismo e eletromagnetismo envolvendo fenômenos solares e relativos a cometas. Segundo Gonçalves (1997), nas duas décadas seguintes a 1873 sua atenção se voltou em direção à mecânica, especialmente para a mecânica dos fluidos. Neste mesmo ano, após investigações experimentais, utilizando um modelo de barco com 76 cm de comprimento, com uma hélice de 5,08 cm de diâmetro, constatou que a medida em que a hélice era afundada na água, bolhas começavam a desaparecer e a propulsão aumentava. Reynolds concluiu, após os resultados deste experimento, que a admissão de ar atrás das pás da hélice reduzia a sua propulsão.

Segundo Delmée (2003), o fenômeno da cavitação é originado quando a pressão de um líquido cai abaixo da pressão de vapor para voltar, em seguida, acima desta. Vapores são formados localmente, e na seqüência, ocorrem colapso destas bolhas, quando há o aumento da pressão. As quedas de pressões localizadas, que provocam a cavitação de um líquido, podem ser provocadas por restrições de área, seja por válvulas ou por elementos primários de vazão intrusivos.

Tais elementos primários são não somente os elementos deprimogênios – placa de orifício, bocais, Venturis – mas, também vórtex e turbinas. A cavitação deve ser evitada, pois, provoca em partes metálicas efeitos destrutivos com o tempo. Para isso, é importante realizar uma verificação da possibilidade de ocorrência de ambiente favorável ao aparecimento do fenômeno da cavitação, calculando-se o valor da pressão de vapor do líquido e comprando-se ao menor valor da pressão que poderá ocorrer em conseqüência do aumento de velocidade provocado pelo elemento primário na tubulação.

De acordo com Jyoti; Pandit (2001), a cavitação é um fenômeno de formação, crescimento e colapso de micro borbulhas dentro de um líquido. Se este fenômeno ocorrer devido a passagem de ondas de alta freqüência é chamado então cavitação acústica (ultrasonication), e se ocorrer devido às variações de pressão no fluxo do líquido, é chamado cavitação hidrodinâmica.

Segundo Rachid (2003), Cavitação é normalmente definida como a formação de estados de vapor em um líquido. Tanto internamente como externamente o fluxo dos líquidos pode ser submetido à cavitação debaixo de regimes constantes ou inconstantes. A região de “cavitação” do fluxo do fluido é em geral restrita a determinados locais pelos diferentes aspectos relacionados ao fluxo dos fluidos.

Segundo Sivakumar; Pandit, (2001), a cavitação hidrodinâmica ocorre quando um líquido é submetido a uma redução dinâmica da pressão devido a dispositivos que restringem a passagem, tais como: venturi, placas de orifício, etc., ao operar-se sob temperatura constante. Resulta do fenômeno da cavitação hidrodinâmica a formação das cavidades preenchidas com uma mistura do vapor-gás dentro do fluxo do líquido ou nos limites do dispositivo de restrição devido a uma queda de pressão causada pelo movimento do líquido. Misturar, emulsificar, homogeneizar e dispersar são alguns das áreas comumente estudados usando a cavitação, assim como, a cavitação acústica. Este efeitos são verificados por uma substancial pluralidade de força agindo nos componentes da mistura tratada, devido ao colapso das bolhas da cavitação. O colapso das bolhas da cavitação próximas do limite da fase “partículas líquido-sólido” resulta na dispersão destas partículas no fluido e na formação de suspensão, quando dentro do sistema "líquido-líquido” um fluido é dispersado no outro e resultam na formação de emulsão. Em ambos os

casos, o limite entre as fases é destruído ou corroído e é dado forma a uma dispersão das fases.

Relata Gonçalves (1997), que num escoamento submetido a queda de pressão, ou seja, pressões do nível de vapor do líquido, ocorrerá uma vaporização destas parcelas de fluido (microbolhas), ou expansão do gás contido nas microbolhas, ou ainda as duas coisas simultaneamente, que provocará o crescimento destes núcleos. Este crescimento poderá ser gradual caso ocorra somente a difusão dos gases contido na microbolha, ou rápido se o crescimento for devido basicamente à vaporização do líquido. Quando o crescimento da microbolha se dá por difusão do gás, o fenômeno denomina-se de cavitação gasosa, e cavitação vaporosa, quando este crescimento se dá em virtude da vaporização do líquido. Após a formação de bolhas, as variações dinâmicas da pressão no escoamento, normalmente em instalações hidromecânicas, favorecerá a evolução da bolha, ou seja, nos casos de diminuição da pressão a bolha crescerá até a sua explosão. Nos casos de aumento de pressão a bolha diminuirá de tamanho até a sua implosão. Portanto, o fenômeno de cavitação é entendido como a seqüência dos eventos de formação das bolhas com o seu posterior desenvolvimento, seja implosão ou explosão, e tem como origem a queda de pressão associada aos núcleos existentes nos líquidos.

Segundo Gogate *et al.*, (2001), as transformações físicas e químicas que usam o fenômeno da cavitação são de conceito bem estabelecido. A vantagem óbvia destes processos é baseada no fato de que as reações podem ser realizadas sob as circunstâncias globais ambientais, que requereriam de outra maneira a aplicação de condições rigorosas, tais como, a alta temperatura e a pressão. O mecanismo subjacente para estes efeitos espetaculares da cavitação está no colapso violento das microborbulhas ou cavidades, tendo por resultado a geração de temperaturas e de pressões extremamente elevadas localmente, entretanto, isto ocorre em milhões de posições no ambiente interno do reator. O colapso violento das cavidades resulta também na formação de átomos reativos de hidrogênio e os radicais de hidroxila, que combinam para dar forma ao peróxido de hidrogênio, que são responsáveis por promover reações da oxidação. Geralmente, a cavitação é classificada em quatro tipos: cavitação acústica, cavitação hidrodinâmica, cavitação ótica, e cavitação da partícula dependendo da modalidade da geração. Entretanto, somente cavitação acústica e a hidrodinâmica tem sido de interesse acadêmico e

industrial, devido à facilidade de condições requeridas para a montagem dos estudos.

2.5.3 Coeficiente de cavitação

Com a finalidade de determinar e quantificar a relação entre as condições dinâmicas e de pressão estática que conduz ao início da cavitação, foi desenvolvido um índice adimensional quantitativo que caracteriza o fenômeno, denominado pela literatura técnica por parâmetro, ou número, ou índice, ou ainda de coeficiente de cavitação.

Este índice adimensional foi introduzido durante os anos vinte por Thoma e Leroux, portanto também recebe o título de coeficiente de Thoma (principalmente quando se trabalha com máquinas hidráulicas), e número de Leroux.

A figura 6, apresenta dois pontos em uma linha de corrente, sobre um corpo sólido, através dos quais determina-se o coeficiente de cavitação.

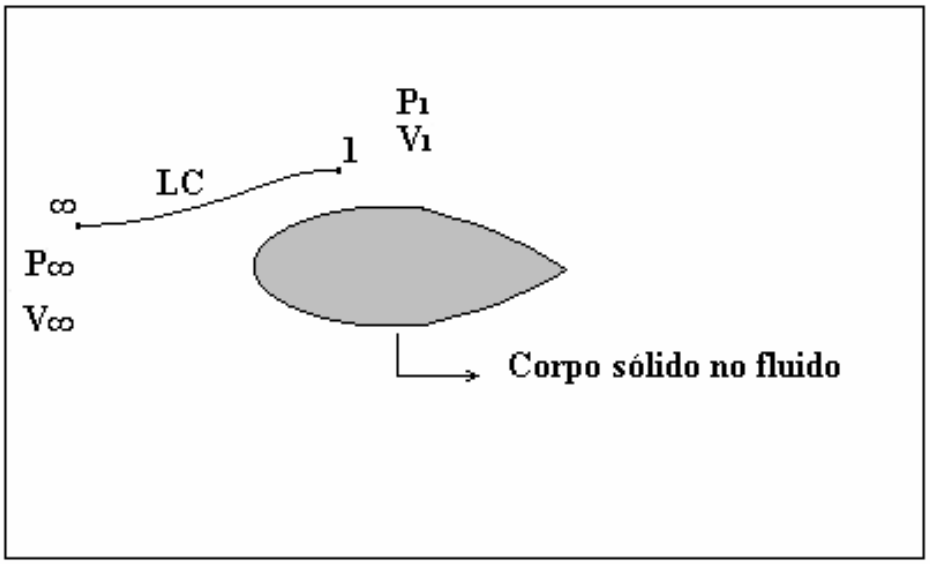


Figura 6- Corpo sólido submerso em fluído

Aplicando a equação de Bernoulli entre os pontos ∞ (inf.) e 1, e considerando que, com o início da cavitação, a pressão no ponto 1 é da ordem da pressão de vapor, isto é, $P_1 = P_v$, encontra-se a expressão para o coeficiente de cavitação, que é representado pela equação (14) abaixo.

$$\sigma = \frac{P_\infty - P_v}{\frac{1}{2}\rho V_\infty^{\ 2}} \tag{14}$$

Esta expressão traduz o transporte do excesso de pressão estática opondo-se ao aparecimento da cavitação contra a depressão dinâmica.

O coeficiente de cavitação é de extrema importância para os trabalhos experimentais, principalmente em turbinas hidráulicas, uma vez que este coeficiente é a referência para a cavitação incipiente, desenvolvida e desinente.

Como o coeficiente de cavitação mede a resistência do fluxo para cavitar, quanto maior for o coeficiente de cavitação, menor será a probabilidade da cavitação ocorrer e, quanto menor for o coeficiente de cavitação, maior será a probabilidade da ocorrência da cavitação. Isto pode ser explicado considerando-se que, quando o fenômeno de cavitação estiver ocorrendo, o coeficiente estará sendo diminuído por decréscimo da pressão estática, ou pelo aumento da velocidade.

É literalmente conhecido que no início da cavitação, ocorre o princípio de crescimento de um núcleo de dimensões microscópicas, existente no escoamento, em virtude de uma queda de pressão local, como já mencionado anteriormente.

Portanto, o termo cavitação incipiente é designado quando o ciclo da bolha é escassamente detectado, e as bolhas formadas são de dimensões reduzidas e quando este ciclo se processa em uma região limitada, ou seja, é o estágio em que a cavitação está nascendo, sendo por conseguinte de grande complexidade a sua determinação experimental com boa precisão.

Uma vez que a determinação exata da cavitação incipiente é muito difícil , o meio científico estabeleceu três situações distintas para a definição deste estágio de cavitação, que são:

- cavitação incipiente para os estudos teóricos, para o processo na sua microescala, é definida como sendo o momento exato, no local determinado, em que se iniciou o processo de cavitação. Estes inícios podem ser determinados com boa aproximação somente experimentalmente, com recursos avançados e complexos, tais como os utilizados no experimento executado por Ran & Katz em 1994, que utilizou bolhas microscópicas como sensores de pressão, e auxílio de holografia.

Esta definição é apropriada para entender e descrever o fenômeno na sua microescala;

- cavitação para a ciência aplicada, é definida como sendo aquela que pode ser determinada, pela primeira vez, através de técnicas acústicas ou visuais;
- cavitação incipiente para a técnica prática, é definida como sendo o momento em que ocorre a primeira queda de performance do equipamento em virtude do fenômeno. Este estágio é considerado pelo meio científico como pós-início e, portanto, não será considerado neste trabalho como cavitação incipiente.

A incipiência é caracterizada por um valor do coeficiente de cavitação que é denominado de “coeficiente de cavitação incipiente” e, neste trabalho será designado pelo símbolo σ_i. Os valores dos coeficientes de cavitação incipiente para modelos em escala reduzida, secções de diferentes geometrias, perfis hidrodinâmicos, corpos cilíndricos e outros, são normalmente determinados experimentalmente em túneis d’água.

Para se determinar o coeficiente de cavitação incipiente, experimentalmente, em túneis d’água, normalmente usam-se dois procedimentos, que são:

- abaixa-se gradualmente a pressão na seção de trabalho, com o auxílio de uma bomba de vácuo, mantendo o escoamento com uma velocidade constante, até que a cavitação seja detectada por técnicas de visualização ou por sensores;
- aumenta-se a pressão dinâmica do escoamento, ou seja, a velocidade do fluxo, até que a cavitação seja identificada pela primeira vez de forma similar à descrita anteriormente.

Uma vez que a cavitação foi iniciada, alterando-se as condições ambientais sob as quais as bolhas estão submetidas, de forma a favorecer o acréscimo da taxa de vaporização do líquido, as bolhas atingirão dimensões maiores

e a região do ciclo da bolha irá aumentar, tornando todo o processo totalmente visível.

A esta condição de cavitação, nitidamente visível, denomina-se estágio de cavitação desenvolvida e o coeficiente de cavitação correspondente a este estágio é bem inferior ao coeficiente de cavitação incipiente, ou seja, $\sigma \langle\langle \sigma_i$.

O processo inverso também pode ser observado. Se a partir da condição de cavitação, for provocado um aumento gradual da pressão, a cavitação será extinta.

Este fenômeno de extinção da cavitação, é denominado de desinência, ou de cavitação desinente e, para este caso o coeficiente de cavitação correspondente será superior ao coeficiente de cavitação incipiente, ou seja, $\sigma \rangle \sigma_i$.

Merece ser destacado o caso de turbinas hidráulicas, cujos limites operacionais são determinados em laboratório em função do sigma crítico da máquina e, posteriormente comparado com o sigma de instalação.

Essa fronteira cavitante operacional é uma fronteira teórica determinada experimentalmente, e não corresponde aos limites reais do protótipo instalado.

A determinação dos limites em tempo real, seja no protótipo, no campo ou uma transposição do modelo para o protótipo, levando-se em consideração os efeitos de escala, é um assunto bastante importante e de grande interesse tanto de fabricantes quanto das concessionárias geradoras de energia elétrica, e podem ser objetos de prosseguimento de trabalhos de pesquisas futuras.

Para os estudiosos de turbinas hidráulicas, o coeficiente de cavitação de grande interesse é o incipiente, que é normalmente denominado de coeficiente de cavitação crítico, e é designado por σ_c, e define as condições de fronteira teórica da ocorrência da cavitação.

O coeficiente de cavitação da instalação, é designado por σ_p, e define a disponibilidade que o sistema dispõe para se opor à ocorrência da cavitação.

Este coeficiente de cavitação crítico só pode ser determinado com boa precisão nos ensaios em modelos reduzidos, pois o mesmo é função principalmente da velocidade de saída da água do rotor, das perdas do tubo de sucção, da qualidade da água e da distribuição de pressão ao longo dos contornos das pás do rotor, portanto, não é possível ser calculado teoricamente com precisão.

Mesmo quando determinado experimentalmente, sobre a condição de sigma crítico ainda é considerado um fator de segurança da ordem de 20%, quando se trabalha na instalação do protótipo, isto para se levar em conta os efeitos de escala na transposição de valores.

À medida que as pesquisas científicas aplicadas vêm avançando, este fator de segurança vem diminuindo. Por volta de 1960 este fator de segurança era da ordem de 50%. Espera-se que este fator de segurança chegue a menos de 5%, quando se obtiver um perfeito diagnóstico do fenômeno de cavitação, bem como um controle quase total do mesmo.

2.5.4. Problemas gerados pela cavitação

Conforme Gonçalves (1997), a cavitação quando ocorre em turbinas hidráulicas é responsável por paradas não programadas de unidades geradoras, ou extensão de paradas programadas, redundando em perda de geração de energia e de flexibilidade operacional do sistema, elevando os custos de manutenção.

O comprometimento da vida útil dos equipamentos hidráulicos é também uma das conseqüências da cavitação excessiva.

De acordo com Rachid (2003), existem inúmeros problemas práticos na engenharia em que a “cavitação” tem um importante papel que deve ser visto com devido respeito. A cavitação pode afetar o desempenho das turbo máquinas através da redução de sua eficiência e no rendimento da potência em turbinas. Podendo também alterar dramaticamente as condições de resfriamento em reatores nucleares de alta velocidade. Sendo um aspecto relevante no prognóstico da falência estrutural de oleodutos no transporte de líquido e na análise da réplica de estruturas submersas agitadas pelas ondas acústicas transitórias. Devido à sua importância, a cavitação tem sido objeto de extensivas pesquisas nos últimos anos.

Segundo Gonçalves (1997), no Brasil, praticamente todas as empresas geradoras de energia elétrica, com usinas hidrelétricas, enfrentam problemas de cavitação em seus equipamentos. Problemas estes que poderão ser minimizados, ou melhor controlados, através de trabalhos de pesquisas, estudos teóricos, numéricos e experimentais do fenômeno da cavitação, e também testes de campo, no protótipo, por monitoramento de parâmetros relacionados ao fenômeno.

Em bombas hidráulicas a cavitação também pode se fazer presente, podendo ocorrer na água durante um processo de bombeamento, provocando estragos, principalmente no rotor e palhetas e é identificado por ruídos e vibrações. Para evitar tal fenômeno, devem-se calcular o $NPSH_{requerido}$ e o $NPSH_{disponível}$.

O NPSH (Net Positive Succion Head) disponível refere-se à "carga energética líquida e disponível na instalação" para permitir a sucção do fluido, ou seja, diz respeito às grandezas físicas associadas à instalação e ao fluido. Esse NPSH deve ser estudado pelo projetista da instalação, através da expressão (15).

$$NPSH_{disponível} = H_{atm} - (+- Hs - Hv + Hs) \qquad (15)$$

Sendo: NPSHdisponível = energia disponível na instalação para sucção, em m;

Hatm = pressão atmosférica local;

Hs = altura de sucção; é negativa quando a bomba está afogada, e positiva quando estiver acima do nível d'água (m);

Hv = pressão de vapor do fluido em função da sua temperatura;

DHs = perda de carga total na linha de sucção (m).

O $NPSH_{requerido}$ é a "carga energética líquida requerida pela bomba" para promover a sucção. Esse NPSH é objeto de estudo do fabricante, sendo fornecido graficamente através de catálogos.

Observa-se, portanto, que a energia disponível na instalação para sucção deve ser maior que a energia requerida pela bomba, logo $NPSH_{disponível}$ deve ser sempre maior ou igual ao $NPSH_{requerido}$. Caso contrário, haverá cavitação em decorrência de uma sucção deficiente.

2.5.5. Aplicação da cavitação

Além dos principais efeitos indesejáveis citados, existem também alguns casos onde os efeitos oriundos do fenômeno de cavitação são desejáveis e resultam em benefícios à humanidade. Atualmente merecem destaques os seguintes efeitos:

- limpeza de superfícies por jatos cavitantes;
- homogeneização do leite (dispersão de partículas);

- massagens terapêuticas;
- produção de emulsões;
- destruição de bactérias;
- acelerar o processo de retirada de gás dissolvido nos líquidos.

Considerando o exposto, pode-se concluir que o fenômeno de cavitação assume grande importância sob o ponto de vista científico aplicado e teórico. Por isso exige que seja melhor conhecido, tanto para reduzir os danos como para aproveitar seus benefícios.

2.5.6. Relatos de experimentos com cavitação hidrodinâmica

- Na Índia

A cavitação hidrodinâmica é usada para uma variedade de aplicações, que variam desde às aplicações biológicas, tais como, o rompimento de células, até às reações químicas como a oxidação de poluentes orgânicos em efluentes, incluindo produtos químicos tóxicos, (GOGATE, 2001).

De acordo com Jyoti; Pandit (2001), estudos prévios têm indicado que essas técnicas podem inativar uma vasta extensão de microorganismos e a ultrasonização e a cavitação hidrodinâmica (HC) têm sido particularmente úteis para a destruição celular. No estudo destes autores foram investigadas a viabilização da desinfecção através do uso da cavitação ultrasônica, cavitação hidrodinâmica (HC) e a cavitação híbrida envolvendo o uso de químicos como o peróxido de hidrogênio conjuntamente com a cavitação. É mostrado uma comparação entre a eficácia da desinfecção ultrasônica, HC, peróxido de hidrogênio e suas combinações. Como um trabalho exploratório. Inicialmente os estudos de desinfecção foram avaliados pelo método da contagem de placa heterotrófica (HPC). Microorganismos específicos foram estudados por serem considerados como indicadores de poluição na água potável, coliformes totais, coliformes fecais e estreptococos fecais.

A aplicação de ultrasom para tratamento de água residuária não é algo de novo para os pesquisadores. Conforme comenta Sivakumar; Pandit (2001), o

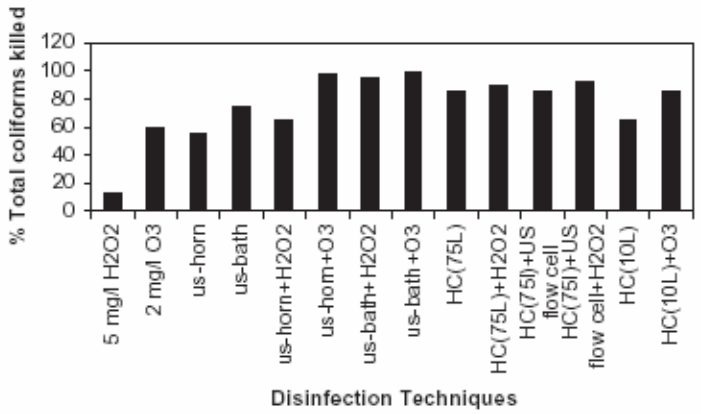
violento colapso de cavidades em sistemas de cavitação hidrodinâmica resultam na formação de átomos de hidrogênio reativos e radicais hidroxilas que combinados formam peróxido de hidrogênio, similar ao que ocorre com o uso da cavitação acústica.

Muitos artigos relatam o uso combinado da cavitação com outras técnicas. São aplicações que recebem a denominação de cavitação híbrida, conforme é relatado por Jyoti; Pandit (2004), mostrando que o ozônio é um poderoso oxidante, quando usado extensivamente para a desinfecção de água. Embora, ocorre a formação de subprodutos menos tóxicos do que o cloro, neste caso é citada a mutagenicidade dos aldeídos e de outros compostos produzindo subprodutos durante a ozonização. Contudo, não se pode deixar de fora essa técnica de desinfecção. Devido a isto, há uma necessidade de se encontrar processos adicionais de desinfecção, que possam reduzir ou eliminam estes subprodutos tóxicos reduzindo o uso do ozônio. Além disso, o alto custo destes biocidas necessitam que sejam melhor utilizados. Os processos sinergéticos reduzem à metade ou a um terço da concentração requerida do ozônio para a desinfecção como é relatado neste estudo. Devido a estes fatores, os processos sinergéticos parecem ser promissores para a desinfecção da água. Nesse estudo, é investigado a viabilidade da ozonização e da cavitação para a desinfecção.

Em outro estudo realizado por Jyoti; Pandit (2003), traz à tona o potencial de técnicas híbridas para a desinfecção de águas. As técnicas estudadas incluem a cavitação hidrodinâmica, a cavitação acústica e o tratamento com produtos químicos como o peróxido de hidrogênio e o ozônio. As técnicas híbridas que combinam a cavitação hidrodinâmica, a cavitação acústica e o peróxido de hidrogênio demonstram ser uma atrativa alternativa a algumas técnicas para a redução dos níveis de bactérias do grupo coliformes.

Neste estudo os resultados são animadores. Conforme mostrado na figura 7, é possível se ter uma idéia do potencial da associação de várias técnicas. O percentual de microrganismos inativados (coliformes totais) ao final de 15 minutos do período do tratamento, estão representados no eixo y, enquanto nas abscissas x, as barras que indicam a variação de inativação nas experiências individuais e combinadas. Conforme relata Jyoti; Pandit (2004), esses resultados representam a média de três experimentos.

É importante destacar o potencial de inativação do uso individual da cavitação Hidrodinâmica neste trabalho, onde pode-se ver uma inativação próximo dos 100%.



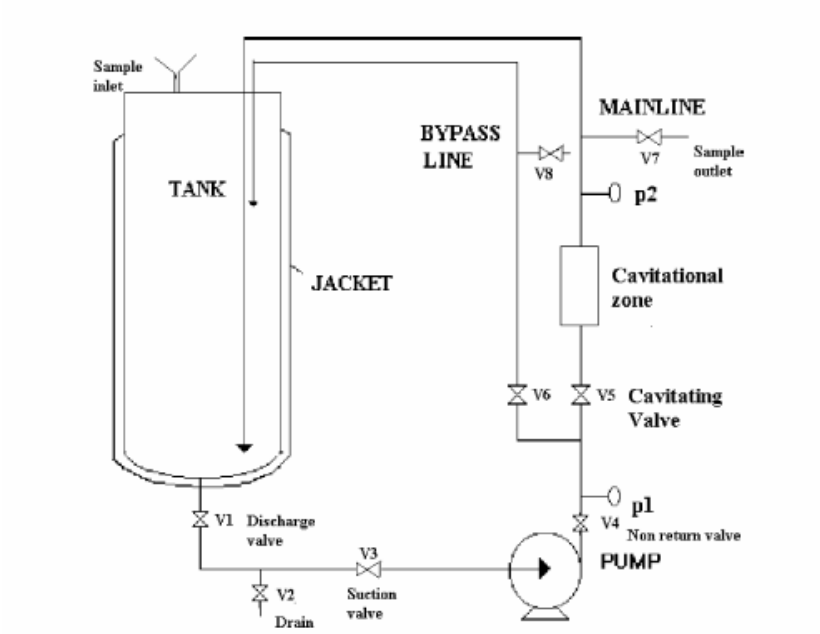
Fonte: Jyoti; Pandit (2004).

Nomeclaturas

HC – Cavitação Hidrodinâmica;
US – Ultrasom;
H2O2 – Peróxido de Hidrogênio;
US Horn – Ultrasom aplicado e a cavitação gerada somente em área restrita;
US Bath – Ultrasom aplicado e a cavitação distribuída uniformemente na amostra;

FIGURA 7 - Percentual de coliformes totais inativados por várias técnicas.

Na maioria dos artigos que empregam a geração de ondas cavitantes aplicam este modelo de sistema relatado por Jyoti; Pandit (2001). O sistema usa um indutor de cavitação hidrodinâmico, conforme mostra a figura 8. É essencialmente um sistema fechado do tipo circuito incluindo um tanque principal, uma bomba centrífuga e válvulas. O tanque principal tem uma capacidade de 10L, diâmetro de 420 mm e altura de 700 mm. A bomba centrífuga de múltiplos estágios tem potência 1,5 Kw e tem uma velocidade de 2800 rpm. A válvula de cavitação é do tipo esfera. O meio de se gerar cavitação, abordado neste experimento, difere do idealizado nesta pesquisa por ser do tipo válvula. Há um fluxo que é injetado sob pressão no interior da válvula, de acordo com sua geometria o líquido é forçado a passar por galerias, no interior da válvula, que induzem a formação, crescimento e implosão de microborbulhas na água.



Fonte: Jyoti; Pandit (2004).
Onde: V1 a V8 – Válvulas de controle e p1 e p2 - Medidores de pressão

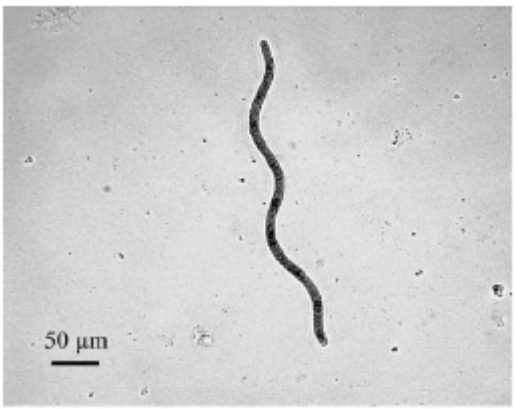
FIGURA 8 – Esboço do sistema completo utilizado nos trabalhos de Jyoti; Pandit (2004).

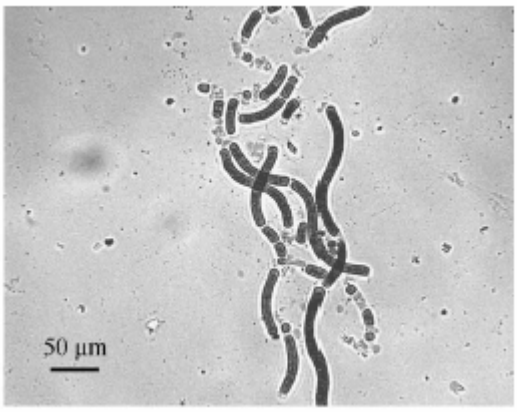
Alguns trabalhos já mostram estudos sobre a possibilidade de se aumentar a dinâmica na formação das bolhas originadas na cavitação hidrodinâmicas. Conforme relata Gogate; Pandit (2004), onde o status atual dos reatores hidrodinâmicos de cavitação foi revisto e discutido sob a análise da dinâmica da bolha, considerações às melhorias do projeto, projeto para correlações da intensidade cavitacional (nos termos da pressão de colapso)/rendimento cavitacional e aplicações químicas bem sucedidas em sínteses de diferentes aplicações, ilustram claramente a utilidade destes tipos de reatores. A discussão teórica se baseia em modelar as equações da dinâmica da bolha visando compreender a informação do projeto relacionada à dependência da intensidade cavitacional nas operações dos parâmetros e recomendações feitas para a escolha das condições ótimas de parâmetros operacionais. A informação do projeto baseado na análise teórica foi aliado também com algumas ilustrações experimentais que concentram-se na aplicação de sínteses químicas. Avaliação dos reatores e da comparação da cavitação hidrodinâmica com os reatores ultrasônicos foi feito citando as diferentes reações químicas importantes. Algumas recomendações foram feitas também para o trabalho futuro a ser realizado como opção de escolha das

condições operacionais para realizar o sonho de aplicações em escala industrial dos reatores de cavitação.

- Na China

É fato também a eficácia da cavitação hidrodinâmica e ultrasônica na inibição do crescimento dos níveis de algas em águas de abastecimento. Conforme mostrado em estudo realizado por Hao *et. al.,* (2004), o impedimento da floração de células de cianobactérias em água eutrofizada, realizado pelo método ultrasônico e irradiações ultrasônicas, com o uso de diferentes parâmetros, foi testado para inibir o crescimento da *Platensis de Spirulina*. O mecanismo de inibição pode principalmente ser atribuído aos danos mecânicos às estruturas das células causadas pela cavitação, que foram confirmados pela visualização em microscópio. Na figura 9 se tem uma visão do formato da *Platensis de Spirulina* como organismo de controle, sob luz microscopia (400x). Quando comparada a figura 9a, que tem um grupo do mesmo organismo também sob luz microscopia (400x), após 5min sob irradiação ultrasônica, é possível visualizar os danos mecânicos às estruturas celulares. Na figura 10A se tem o diferencial entre células irradiada e de controle, figura 10, com detalhes dos danos causados na superfície destas células, após 5 minutos sob ação de irradiação ultrasônica.

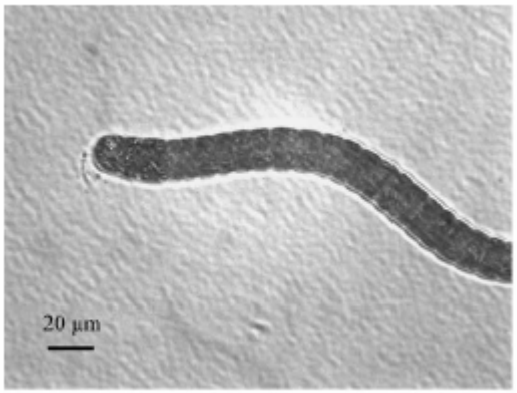


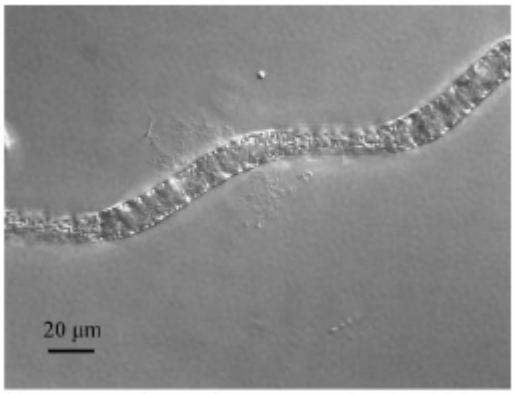


Fonte: Hao *et. al.,* (2004).

FIGURA 9 - Organismo de controle

FIGURA 9A - Após 5min sob irradiação ultrasônica





Fonte: Hao *et. al.,* (2004).

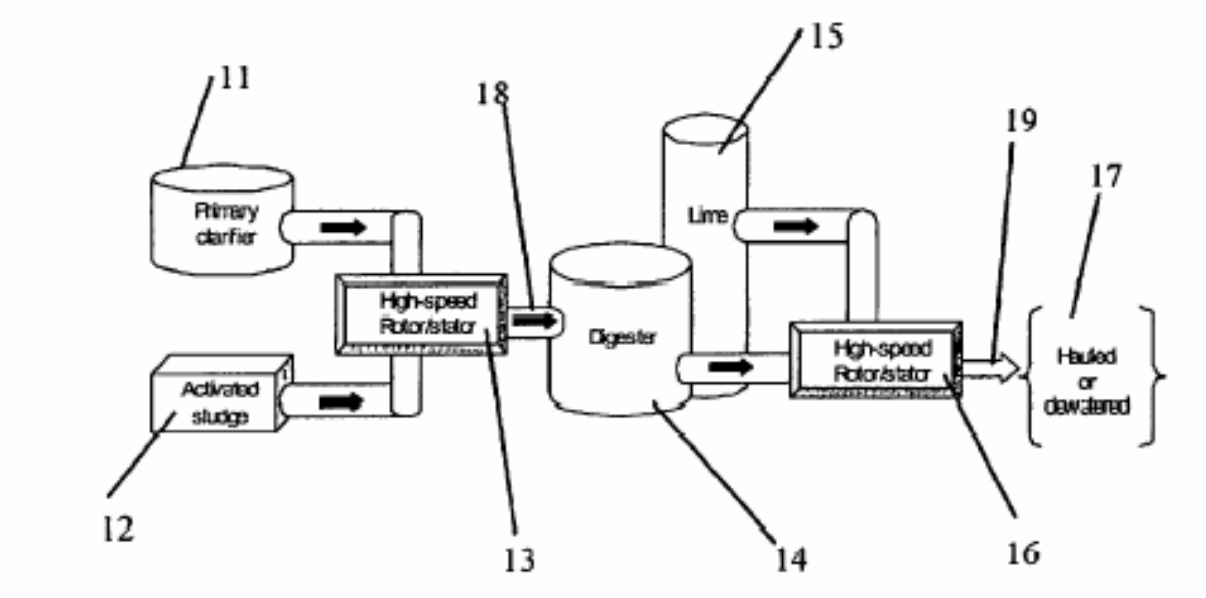
FIGURA 10 - Organismo de controle

FIGURA 10A - Após 5min sob irradiação ultrasônica

De acordo com Hao *et. al.,* (2004) para que seja utilizado é necessário que se considere a quantidade de energia elétrica requerida para o funcionamento do sistema. Conseqüentemente, o poder e a freqüência do ultrasom são parâmetros importantes dentro do estudo da inibição do crescimento de cianobactérias. Os resultados deste estudo sugerem três faixas de aplicação da freqüência 200 e 20 quilohertz e 1.7MHz.

- Nos E.U.A

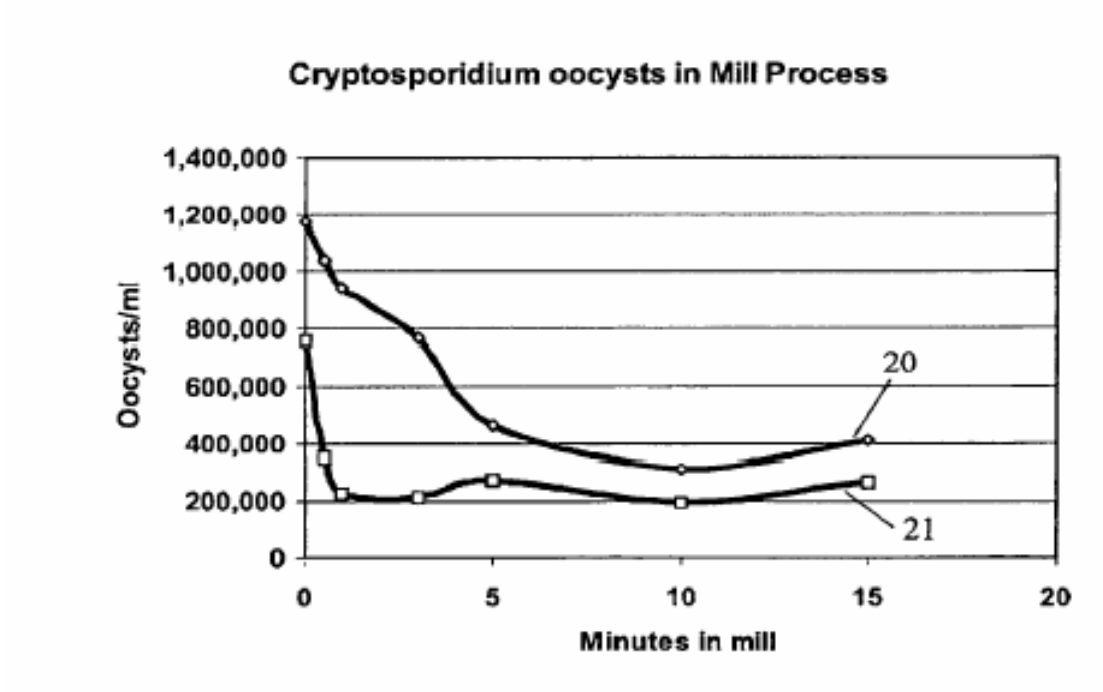
Há referências à tratamentos de biosólidos com o uso da cavitação hidrodinâmica. Conforme relatado no documento de patente US 2002158010, onde pode-se ver a aplicação de um método de inativação de patógenos em biosólidos com o uso da cavitação. O processo é dividido em várias etapas, onde o reator de cavitação utilizado em duas fases do processo. A figura 11 mostra o esboço do sistema como um todo. Onde os números 13 e 16 representam os reatores de cavitação utilizados.



Fonte:Documento de patente No. US 2002158010.

FIGURA 11 – Esboço do sistema de inibição de patógenos em biosólidos, apresentado na patente de No.US 2002158010.

Como resultados o inventor apresenta na figura 8, o potencial de inativação de oocistos de cryptosporidium por minutos de utilização do sistema da figura 7.



Fonte: Documento de patente US 2002158010.

FIGURA 12 – Gráfico da redução dos oocisto de cryptosporidium através do uso do sistema da patente No. US 2002158010.

3. METODOLOGIA, INSTALAÇÕES E PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Neste estudo procurou-se formatar um reator onde as conseqüências da cavitação gerada pudessem ser, principalmente, responsáveis pela elevação abrupta da temperatura do fluido, chegando à sua ebulição. As investigações prosseguiram no intuito de encontrar a dependência da elevação da temperatura da água, com relação às características geométricas do rotor e a formação da cavitação.

Para dimensionar e construir este reator foram utilizadas como fonte de informações,além de artigos já abordados anteriormente, documentos de patentes. Também ressalta-se que a utilização de reatores para provocar a cavitação intensa envolveria a formatação de rotores, de diferentes geometrias e diâmetros, necessitando de um estudo minucioso, para indicar aqueles que melhor se adequariam ao objetivo desta pesquisa.

3.1. Localização do experimento

O experimento deste trabalho foi montado e instalado no Campus do Pici em área anexa à Fundação Núcleo de Tecnologia - NUTEC, destinada ao Parque Tecnológico PAR-TEC, na Universidade Federal do Ceará. A área escolhida justifica-se pela proximidade a setores de apoio do próprio NUTEC e o ambiente de incubadora de empresas de base tecnológica do PAR-TEC.

Como o objetivo principal desta pesquisa era de estudar o uso da cavitação hidrodinâmica como alternativa para a desinfecção de águas para abastecimento, para tanto foi necessário a construção de um equipamento, denominado de reator, que provocasse a cavitação hidrodinâmica até o ponto de ebulição da água de alimentação.

3.2. Levantamento bibliográfico para o projeto do equipamento de cavitação hidrodinâmica

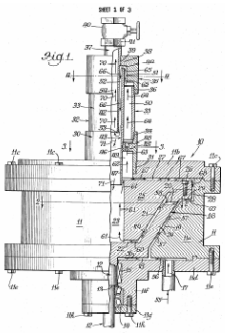
A tecnologia de ondas cavitantes se traduz em uma forma de geração de

calor que detém uma particularidade de suma importância, o calor gerado ocorre no interior do próprio fluido que se encontra no ambiente interno do reator, de maneira uniforme, não aquecendo, instantaneamente, partes que não seja o próprio fluido, redundando assim em uma elevada eficiência térmica durante o uso, se comparado com outras formas de aquecimento que se utilizam de resistências elétricas ou do fogo, para aquecimento de um líquido.

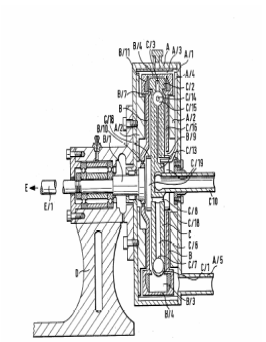
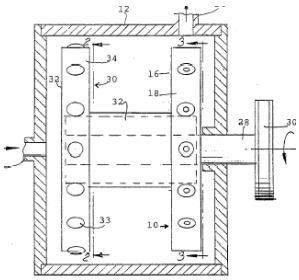
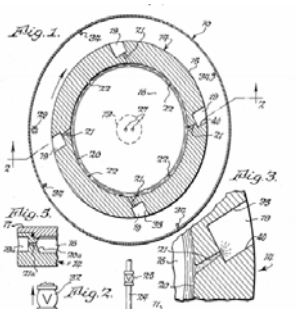
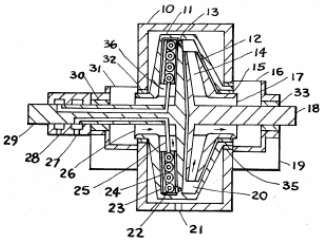
Para a concepção deste sistema proposto, foram realizadas diversas atividades experimentais por um período de 14 meses. Por meio de ensaios com diferentes parâmetros construtivos foi possível se chegar a um modelo otimizado. Foram pesquisados, além de artigos anteriormente mencionados, diversos documentos de patentes que tratavam de aparatos tecnológicos com o objetivo de gerar calor na água, com o uso da cavitação hidrodinâmica. Muitas dessas observações balizaram todo o projeto conceptivo dos protótipos construídos experimentalmente neste estudo. Os documentos de patente selecionados mostravam peculiaridades construtivas no que diz respeito a: componentes mecânicos empregados, sua geometria e tipos de materiais envolvidos. Há de se relatar que, tais informações não estavam munidas de detalhes. Foi preciso se utilizar da percepção e criatividade para definir parâmetros dimensionais e operacionais dos componentes envolvidos.

O quadro 3 apresenta um breve resumo dos documentos de patentes consultados ao longo do estudo.

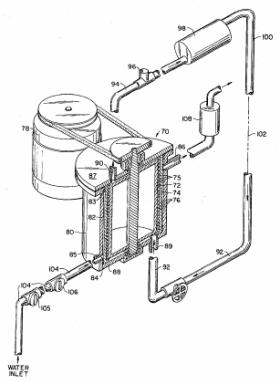
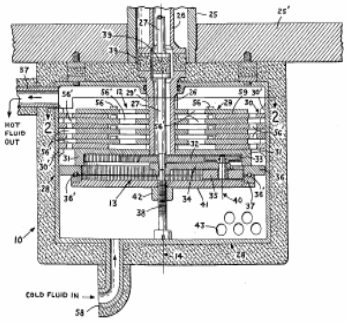
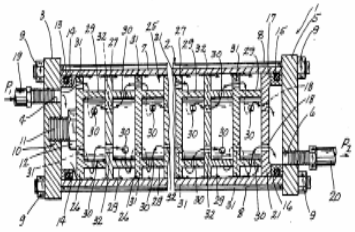
QUADRO 3 – Breve relato da literatura consultada a respeito de modelos de reatores de cavitação.

Identificação do documento	**Esboço do modelo consultado**	**Breve descrição do modelo**
Patente US3791349		Dispositivo denominado martelo d`água que causa liberação de forças alternadas. Primeiramente uma ação centrífuga e depois uma ação do vácuo, causando no corpo de água a ser puxado, um movimento de dentro para fora num sentido e com a pressão, um sentido oposto. Esta peça tem a idéia de se criar passagens eqüidistantes no rotor com comunicação entre os invólucros.

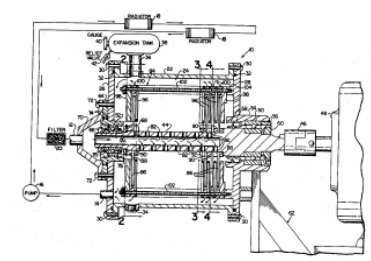
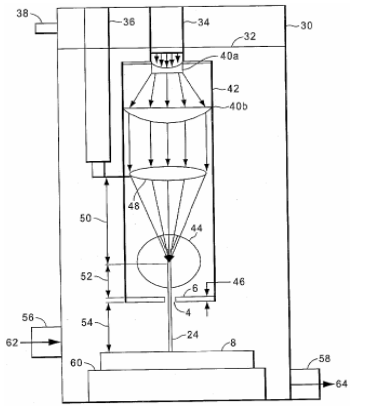
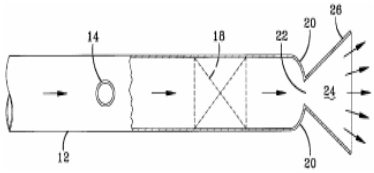
QUADRO 6 – Breve relato da literatura consultada a respeito de modelos de reatores de cavitação (cont.).

Identificação do documento	**Esboço do modelo consultado**	**Breve descrição do modelo**
Patente US4480592		Concepção construtiva que redundam em geração de cavitação, partindo-se de uma água em temperatura ambiente, ou proveniente de uma caldeira. Ressaltasse também a espessura do rotor deste modelo de peça e sua fixação, por meio apenas de uma caixa de selagem e rolamento.
Patente US 4779575		Neste trabalho, é apresentado um instrumento de aquecimento de líquido por fricção, que inclui, um rotor da bomba e um rotor do impulsor em um reservatório líquido. Enquanto a bomba e o impulsor são girados gerando a fricção, aquece-se o líquido. Conforme o rotor gira, é bombeado o líquido à entrada do impulsor que impele o líquido através dos restritos orifícios.
Patente US 3242908		Este invento relata um vaporizador que se utiliza de uma construção de rotor que permite o descarregamento, sob uma elevada pressão, através de um orifício restrito, contido em uma câmara de vácuo.
Patente US 3933007 e Patente US 3937034		Este aparato apresenta um método e um instrumento para comprimir o líquido passando-o através de um centrifugador contínuo. Com o giro do rotor, o líquido sofre ação da força centrífuga que é então pressurizado.

QUADRO 6 – Breve relato da literatura consultada a respeito de modelos de reatores de cavitação (cont.).

Identificação do documento	**Esboço do modelo consultado**	**Breve descrição do modelo**
Patente US 4277020		Neste conjunto é apresentado um aparato para friccionar fluidos. Destaca-se a carcaça que tem forma cilíndrica. Os sulcos no rotor são quase circunferênciais. Um cilindro é montado dentro da carcaça e tem uma superfície exterior cilíndrica na proximidade à superfície carcaça.
Patente US 4325354		Equipamento destinado a manter a velocidade de rotação de um rotor, utilizando-se um moinho de vento, em uma relação fixa à velocidade livre do fluxo dirigido pelo vento. Este arranjo permite que o rotor do moinho de vento gire numa velocidade em que é maximizado o seu poder de giro. O instrumento inclui uma quantidade de movimentos intercalados de discos estacionários de fricção que convertem a energia cinética, rotatória do eixo de rotor do moinho de vento, em energia térmica.
Patente US 4381762 e Patente US 4381762		Neste trabalho é apresentada uma fornalha de fricção, destacando-se o uso de uma carcaça contendo um rotor com uma quantidade de orifícios dispostos. Os dois rotores são de tipos arranjados na ordem alternada em toda a carcaça; cada tipo de rotor, entretanto, contém um anel anular disposto radialmente para dentro de sua periferia que contem um multiplicidade de passagens radialmente dispostas.

QUADRO 6 – Breve relato da literatura consultada a respeito de modelos de reatores de cavitação (cont.).

Identificação do documento	**Esboço do modelo consultado**	**Breve descrição do modelo**
Patente US4388915		Neste modelo é mostrada uma idéia de um gerador de calor aplicado em líquido por fricção, usado em um sistema de aquecimento. Destaca-se neste modelo o uso de uma carcaça fechada e um eixo oco que é usado para girar os discos do rotor.
Patente US2003139041		Esta invenção divulga um método e um instrumento para a formação dirigida de um micro-jato, formado pelo colapso de bolha originado pela cavitação a uma superfície de trabalho colocada em um líquido. Uma passagem que contem um orifício, colocado entre a superfície de trabalho e a bolha da cavitação, é utilizada para dirigir o micro-jato.
Patente US200310225		Neste trabalho é apresentado um processo de atomização realçado por cavitação, compreendido por uma solução fluindo do líquido a ser atomizado e de um líquido cavitando.

Fonte: Adaptado dos documentos de patente números: US3791349, US4480592, US 4779575, US 3242908, US 3933007, US 3937034, US 4277020, US 4325354, US 4381762, US 4381762, US4388915, US2003139041 e US200310225.

Após estas investigações ficou estabelecido que a construção do reator de cavitação hidrodinâmica, a ser aplicada nesta pesquisa, deveria conter os seguintes componentes:

- Rotor;
- Eixo;
- Mancais laterais;
- Tampas laterais; e
- Câmara.

A serem montados conforme a figura 13, que mostra também os pontos de entrada e saída da água.

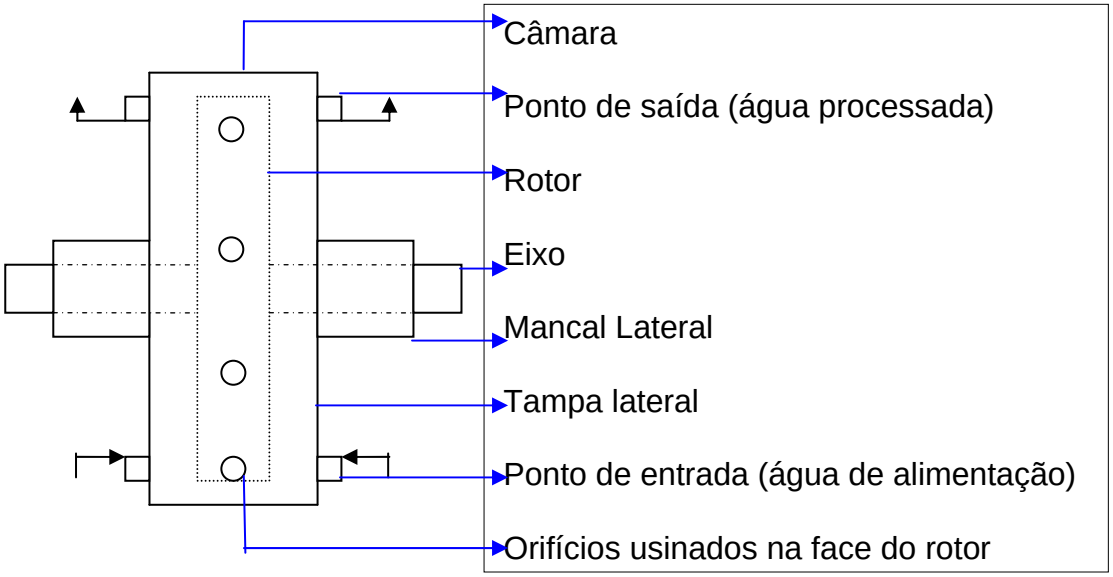


FIGURA 13 – Desenho esquemático do reator de cavitação hidrodinâmico.

3.2.1. Ocorrência de cavitação no ambiente interno do reator utilizado na pesquisa

O rotor do reator foi construído com orifícios de passagem que obrigam o fluido a percorrer e sair, repetidamente, do seu comprimento. Este movimento aplicado à parcela de água de alimentação que é injetada no reator, origina, neste meio de propagação, ondas vibratórias que são transmitidas, inicialmente, às moléculas de água que encontram-se adjacentes a face do rotor onde foram usinados os orifícios do rotor. A transmissão desta energia vibratória continua para as outras moléculas que estão ao redor das moléculas adjacentes. As moléculas adjacentes após repassarem a vibração, tendem a retornar ao estado de equilíbrio, criando, então, uma cavidade entre estas e as moléculas ao redor. Estas cavidades crescem entram em colapsos e implodem, liberando grande quantidade de energia térmica na água.

A figura 14 mostra o início da seqüência vibratória sofrida pelo meio de propagação, e o momento inicial de choque entre suas moléculas.

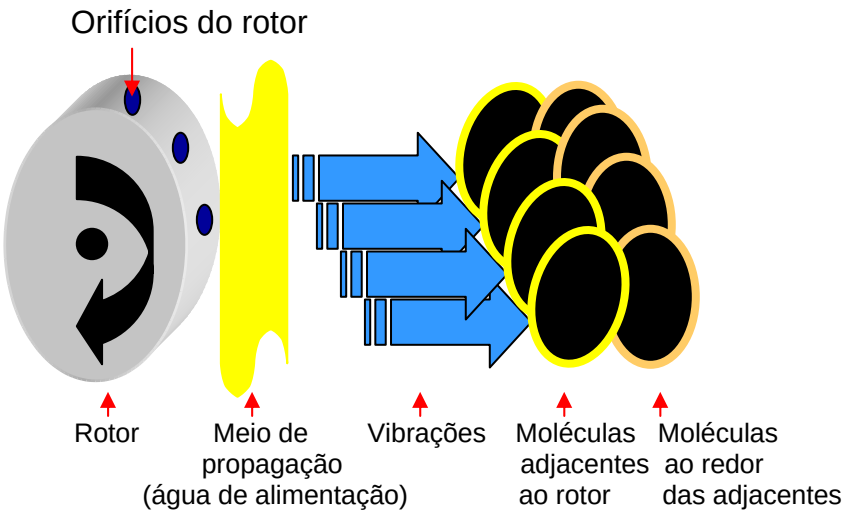


FIGURA 14 – Representação do início da seqüência vibratória sofrida com a rotação do rotor pelas moléculas do meio de propagação.

Durante o processo de formação das cavidades, existe a etapa de compressão, quando a pressão é positiva e a etapa de expansão, quando se tem uma pressão negativa. Conforme mostrado na figura 15.

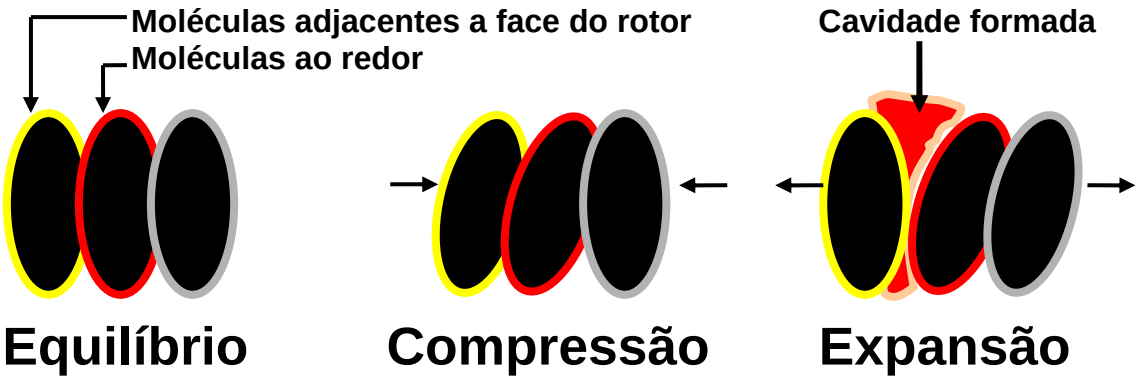
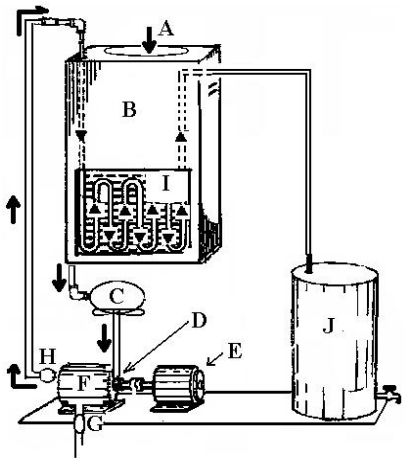


FIGURA 15 – Representação do comportamento das moléculas do meio de propagação, sob ação das ondas vibratórias, criando etapas de pressão positiva e negativa, até originar a cavidade.

Na prototipagem foram envolvidos apenas o rotor do reator de cavitação. Mudanças na sua geometria englobando: diâmetro e número de passagens usinados na face do rotor. A partir dos resultados obtidos eram propostos novas alterações.

3.2.2 Desenho esquemático do sistema completo utilizado na pesquisa

Para atingir os objetivos, o sistema foi concebido de acordo como está mostrado na figura 16. Vale ressaltar que, como não havia similares deste sistema, foi dada uma concepção original, tanto para o reator de cavitação como para os aparatos periféricos que completam o sistema.



LEGENDA

A – Ponto de entrada de água de alimentação;
B – Tanque de água de alimentação e condensação;
C – Bomba Hidráulica;
D – Ponto de entrada de água no reator de cavitação;
E – Motor elétrico;
F – Reator de Cavitação Hidrodinâmico;
G – Ponto de dreno ou limpeza do reator;
H – Ponto de saída de vapor;
I – Serpentina de condensação de vapor;
J – Tanque de condensado, água processada.

FIGURA 16 – Desenho esquemático do sistema completo de desinfecção por cavitação hidrodinâmica, aplicado na pesquisa.

Neste sistema proposto o fluido a ser tratado faria a seguinte seqüência: é colocado pela entrada “A” no tanque de água de alimentação “B”. Por uma bomba hidráulica “C” esta água é succionada passando pelos filtros de cartucho e entrando pelo ponto “D”, porto de entrada do reator de cavitação “F”. O motor elétrico “E” desenvolve um movimento de 3520 rpm no reator de cavitação “F” provocando a criação de ondas cavitantes na parcela de água que entrou. Esta parcela de água, após sofrer o aquecimento, é levada a porta de saída “H” (como vapor ou água quente) e segue pela serpentina “I” que esta mergulhada na água de alimentação contida no tanque B. Está condição faz com que a água de alimentação já entre no reator com a temperatura alterada, pois absorve calor da parcela de água que foi processada. A água processada e já resfriada segue para o tanque “J”. O ponto “G”, é um dreno para se realizar a limpeza interna do reator.

3.3. Métodos analíticos e análises

Para a otimização dos modelos construídos o equipamento foi exaustivamente analisado segundo:

- o tempo de retenção conferido à água em processamento no interior do reator, através do monitoramento de diversos valores de vazão da água de alimentação;
- o monitoramento da temperatura na câmara do reator, o monitoramento da temperatura da água de alimentação e o monitoramento da temperatura da água processada; e
- análise físico-química e biológica da água de alimentação e água processada.

3.3.1. Aferição do desempenho a diferentes vazões

Para realizar este experimento foram construídos três protótipos do reator, A alteração fundamental se deu exatamente na geometria do rotor. Para cada protótipo do reator foi realizado uma série de testes envolvendo valores de vazões diferentes que possibilitou a identificação de um valor que demonstrasse a otimização dos resultados de eficiência térmica.

A vazão foi avaliada pela verificação da quantidade de água extraída do reator durante um minuto. Utilizando-se um recipiente de vidro com graduação para 1000ml. Este procedimento foi repetido por 3 vezes e observado a média de ocorrência de volume extraído de água processada.

3.3.2. Aferição do comportamento da temperatura

Cada protótipo do reator foi avaliado quanto a sua eficiência térmica através de medições de bateladas de tomadas de temperatura. Esta aferição térmica

consistia em avaliar o potencial de geração de cavitação conseguido no protótipo em teste, em função do tempo.

Para aferir a temperatura foram usados dois termômetros digitais, marca MINIPA. Seus termopares, do tipo K, foram posicionados da seguinte forma: um na câmara pelo lado externo do reator, um no tanque de água de alimentação e o último termopar no centro do ponto de saída da água processada, também no reator.

Para cada alteração realizada nos protótipos procedeu-se da seguinte forma: cada batelada era composta de 10 tomadas de temperatura, cada tomada era composta de 13 leituras de temperatura, realizadas a cada 3 minutos, com informações coletadas dos três termopares posicionados. Foram observadas as temperaturas da água de alimentação, câmara externa do reator e água processada.

Em um dia eram realizadas 3 bateladas com intervalos de tempo, entre uma e outra, suficiente para que o protótipo retornasse à temperatura ambiente, evitando o risco de interferência na leitura posterior por calor gerado na leitura anterior. Portanto, ao final de cada avaliação de eficiência térmica realizado para o protótipo em teste, eram obtidos 130 leituras de temperaturas. Foram efetuadas 4 bateladas para o protótipo 1, 3 bateladas para o protótipo 2 e 4 bateladas para o protótipo 3. A tabela 2 apresenta a disposição das bateladas realizadas nos protótipos.

TABELA 2 – Disposição das bateladas realizadas nos protótipos construídos, do reator de cavitação.

Protótipo	***Alterações avaliadas***	***Qtde. bateladas***	***Qtde. tomadas de Temperaturas por batelada***	***Qtde. de leituras de temperatura por tomada***	***Total de leituras de temperatura para este protótipo***
1	Ponto de injeção Diferentes vazões	4	10	13	520
2	Geometria do rotor Diferentes vazões	3	10	13	390
3	Geometria do rotor Diferentes vazões	4	10	13	520

3.3.3. Análise físico-química e microbiológica das águas

Exceto para o protótipo 1, em todos os outros protótipos dos reatores foram avaliadas a qualidade das águas estudadas, tanto para as águas de alimentação, quanto para as águas processadas pelos protótipos, seguindo os padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria nº. 518 (BRASIL, 2004) e de acordo com a metodologia recomendada por Eaton *et al* (1999), com exceção das análises da matéria orgânica.

As investigações laboratoriais trouxeram subsídios e contribuições para questões como o comportamento dos microrganismos presentes na água de alimentação e sua relação vital com o processo de cavitação experimentados em cada protótipos. Sendo assim, as análises físico-químicas e microbiológicas foram distribuídas, conforme a tabela 3.

TABELA 3 – Distribuição das análises físico-químicas e microbiológicas realizadas nos protótipos construídos do reator de cavitação.

Protótipo	***Qtde. de análises Físico Químicas***	***Qtde. análises Microbiológicas***	***Água analisada***
1	4	0	Água de alimentação Água Processada
2	8	6	Água de alimentação Água Processada
3	9	48	Água de alimentação Água de inoculada Água processada

O quadro 4 apresenta o resumo dos métodos analíticos utilizados nas análises físico-química e bacteriológica. A matéria orgânica foi determinada segundo Rodier (1990).

QUADRO 4 – Métodos analíticos utilizados durante os experimentos.

Análise físico-química		
Parâmetros	Métodos analíticos	Referência*
Alcalinidade total (mg $CaCO_3$/L) Alcalinidade parcial (mg $CaCO_3$/L) Bicarbonato (mg HCO_3^-/L) Hidróxido (mg OH^-/L) Carbonato (mg/L CO_3^{2-})	Titulométrico	2320 B
Dureza total (mg $CaCO_3$/L) Cálcio (mg Ca^{2+}/L) Magnésio (mg Mg^{2+}/L)	Titulométrico	2340 C
Cloreto (mg Cl^-/L)	Titulométrico	4500-Cl^- B
Sódio (mg Na^+/L) Potássio (mg K^+/L) Manganês (mg Mn^{2+}/L)	Absorção atômica	3111-B
Ferro (mg Fe^{2+}/L)	Absorção atômica/ Espectrofotométrico	3111-B/ 3500 Fe B
Matéria orgânica (mg O_2 cons./L)	Perganométrico	-
Nitratos (mg N-NO_3^-/L) Nitritos (mg N-NO_2^-/L)	Espectrofotométrico	4500-NO_3^- B 4500-NO_2^- B
Ph	Eletrométrico	4500-H^+ B
Sólidos totais dissolvidos (mg STD/L) Sólidos totais (mg STD/L)	Gravimétrico	2540 C 2540 B
Sulfato (mg SO_4^{2-}/L)	Espectrofotométrico	4500- $SO_4^=$ G
Condutividade elétrica (μS/cm)	Eletrométrico	2510 B
Análise bacteriológica		
Parâmetros	Métodos analíticos	
Coliformes totais e fecais Bactérias heterotróficas	Fermentação dos tubos múltiplos Contagem padrão em placa	- -

*Valores de referência de Eaton *et al* (1999).

As amostras destinadas às análises físico-químicas foram coletadas em frascos de plásticos com capacidade de 1.500 ml, e as amostras para os testes bacteriológicos, em frascos esterilizados com capacidade de 100 ml. Após as coletas, as amostras eram identificadas, refrigeradas em caixa de isopor e conduzidas para os laboratórios de química e microbiologia do Nutec, e também do Labosan - Laboratório de Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Ceará.

3.4. Construção dos protótipos

Os protótipo foram construídos tomando como base o princípio de formação de ondas vibratórias aplicadas no meio de propagação que é a água de alimentação, por meio da forma geométrica dada ao rotor do reator.

3.4.1 Protótipo 1

O primeiro protótipo do reator foi construído tomando como base as informações obtidas nas patentes e artigos pesquisados, considerando-se:

- Conjunto de componentes necessários à montagem de um reator de cavitação;
- Tipos de materiais metálicos e não metálicos envolvidos na manufatura;
- Condições de usinabilidade destes componentes;
- Facilidade de aquisição dos materiais no mercado local;
- Custos de aquisição e fabricação.

A água de alimentação utilizada para este primeiro protótipo foi de um poço que abastece o NUTEC.

3.4.1.1. Otimização do ponto de injeção da água de alimentação

Foram avaliadas duas alternativas de localização do ponto de injeção de água de alimentação no reator. A primeira alternativa foi com a injeção localizados nas tampas laterais do reator (Ponto de entrada 1), conforme mostrado em detalhe na figura 17.

A segunda opção foi a injeção por um ponto localizado nos mancais laterais (ponto de entrada 2). Neste local, a água de alimentação estaria sendo injetada no centro do equipamento. Verificou-se qual a influência na eficiência térmica das duas situações.

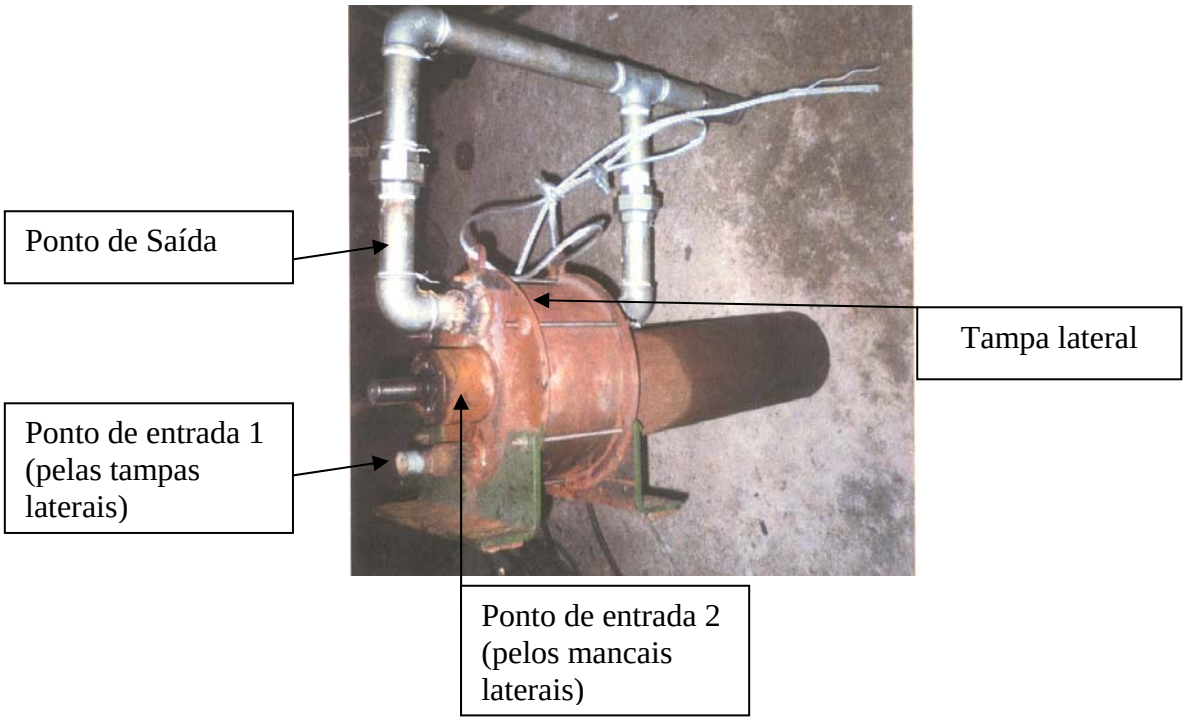


FIGURA 17 - Protótipo 1, com detalhe das duas possibilidades de injeção de água de alimentação e saída da água processada no reator, instalado no Parque Tecnológico do NUTEC, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza,Ceará 2004.

3.4.1.2. Teste de diferentes vazões

Para este protótipo 1 foram testados três valores de vazões: 10 L/h, 15 L/h e 20 L/h. Possibilitando a escolha de um valor que melhor se adequou à eficiência térmica do protótipo.

3.4.1.3. Análise físico-química e microbiológica das águas

A qualidade microbiológica da água processada pelo protótipo 1 foi deixada em segundo plano, visto que, neste primeiro protótipo o foco era apontar características construtivas que nos levasse a um aumento na formação de vibrações. Neste sentido foram observados apenas os aspectos físico-químicos das águas de alimentação e processada. Para isso, foram realizadas três coletas em dias alternados.

3.4.2. Protótipo 2

Através de observações no comportamento térmico do protótipo 1 foi possível determinar pontos de alterações visando uma maior geração de ondas cavitantes. Contudo, vale ressaltar que foram mantidos parâmetros utilizados no protótipo 1 que demonstraram bons resultados, tais como:

- O ponto de injeção pelos mancais laterais;
- Vazão de água de alimentação inicialmente mantida em 15L/h.

3.4.2.1. Seleção de material para usinagem do protótipo 2

Para confecção das peças metálicas foi utilizado o aço carbono 1020 submetido a um tratamento superficial com cromo. Deixando as peças usinadas com aproximadamente 2 mm de camada de cromo na superfície. Dotando as peças de uma maior resistência à corrosão.

Nas figuras 18 e 19, é mostrado o reator cromado superficialmente, bem como, os pontos de entrada e saída de água.

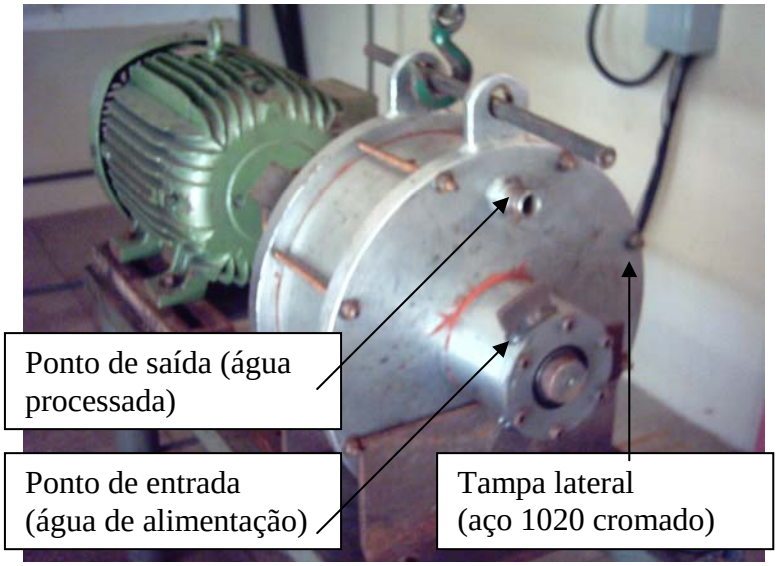


FIGURA 18 – Vista da tampa lateral do Protótipo 2 cromada, detalhe para ponto de saída e ponto de entrada de água, instalado no Parque Tecnológico do NUTEC, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará 2005.

FIGURA 19 – Motor elétrico montado ao reator de cavitação, Protótipo 2, instalado no Parque Tecnológico do NUTEC, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará 2004.

3.4.2.2. Alterações na geometria do reator

Foi construído um novo rotor para este protótipo de reator, com a proposta de elevar a produção e atividade das ondas cavitantes. Para isso, foi programada a seguinte seqüência de mudanças:

- Aumento no número de orifícios do rotor;
- Aumento no diâmetro do rotor:
- Aumento das tampas laterais;
- Aumento dos mancais laterais.

3.4.2.3. Teste com diferentes vazões

Para este novo protótipo do reator foram testados três valores, 15 L/h, 20 L/h e 25 L/h. Daí foi possível uma equalização da melhor vazão em função da melhor eficiência térmica obtida pela cavitação.

3.4.2.4. Análise físico-química e microbiológica das águas

A água de alimentação e água processada, utilizada neste protótipo 2, foram analisadas, efetuando-se duas coletas para análise microbiológica e seis coletas para análises físico-químicas.

3.4.3. Protótipo 3

Após a definição de pontos fundamentais para a otimização da eficiência térmica, identificados nas prototipagens anteriores, procedeu-se com a construção do protótipo 3. Neste terceiro momento a experiência obtida já apontava para algumas variáveis de grande importância para se obter a ebulição da parcela de água que adentrasse ao reator para tratamento.

3.4.3.1. Seleção de material para usinagem do protótipo 3.

As alterações se iniciaram pela escolha de uma liga metálica a ser utilizada para a usinagem das peças componentes do protótipo 3 do reator. A liga definida deveria apresentar: resistência à corrosão; boa usinabilidade; facilidade de aquisição no mercado local; e baixo custo de aquisição.

O alumínio foi escolhido por oferecer boa resistência à oxidação, ter uma menor massa, possuir boa usinabilidade e a condição de compra no mercado nacional. Nas figura 20, 21, 22 e 23 são apresentados alguns itens deste reator em alumínio.

FIGURA 20 – Tampa lateral em alumínio sextavado, utilizado no protótipo 3 do reator de cavitação.

FIGURA 21 – Usinagem das tampas sextavada em alumínio, utilizadas no protótipo 3 do reator de cavitação.

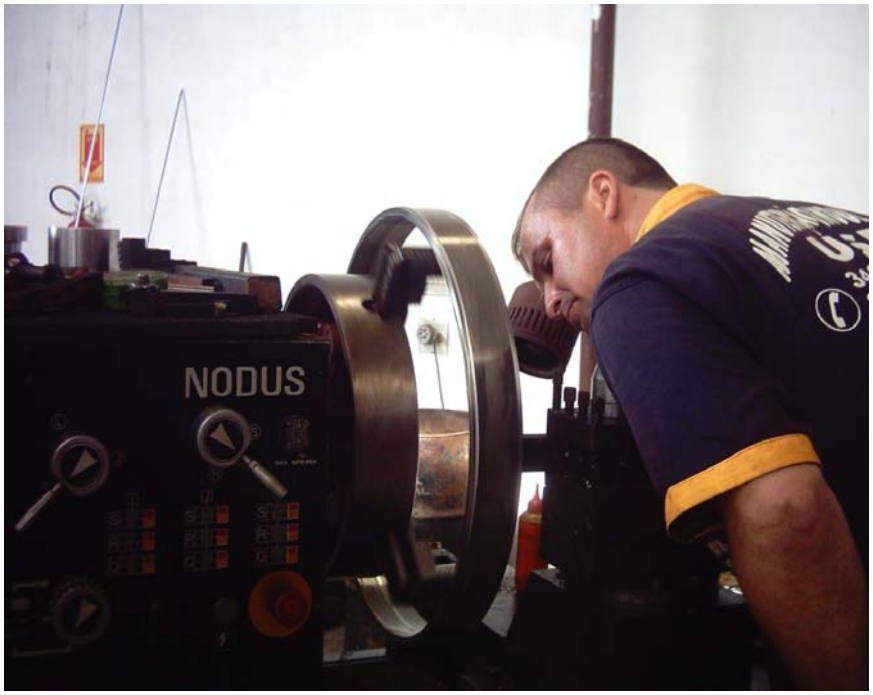


FIGURA 22 – Usinagem da câmara em alumínio, utilizadas no protótipo 3 do reator de cavitação.

.

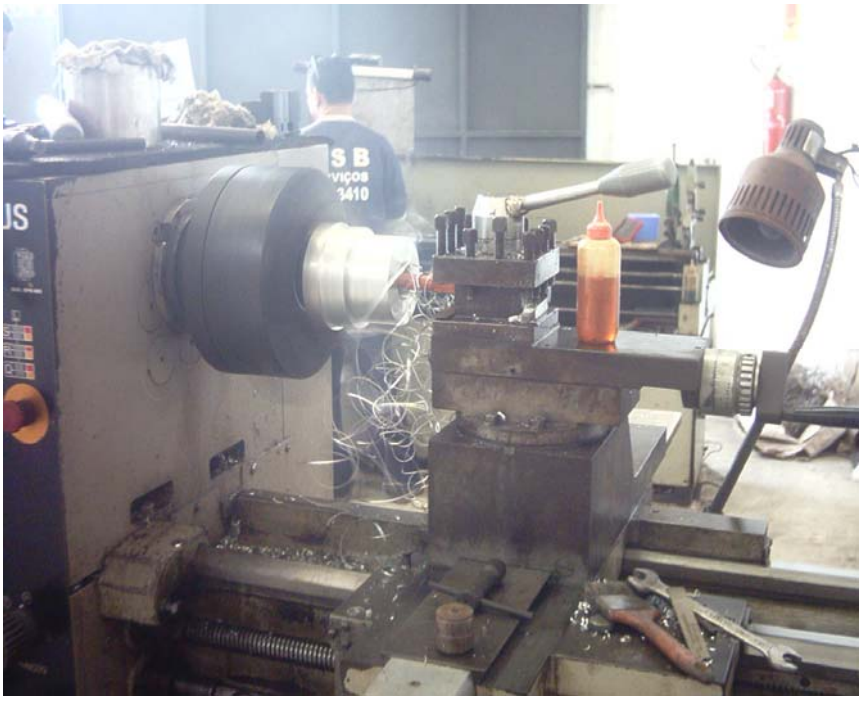


FIGURA 23 – Usinagem do mancal em alumínio, utilizado no protótipo 3 do reator de cavitação.

3.4.3.2. Produção da água inoculada

A engenharia construtiva dada ao protótipo 3 deveria retratar a evolução atingida na concepção construtiva, e então se caracterizar como o melhor modelo para se avaliar o desempenho do uso da cavitação hidrodinâmica na inativação de patógenos, objetivo desta pesquisa. Assim, diferentemente dos outros protótipos construídos, utilizou-se uma metodologia para produzir água de alimentação para o uso neste terceiro protótipo. A proposta foi de experimentar uma água de alimentação que apresente elevado índice de contaminação microbiológica. Decidiu-se então por fazer uma inoculação de esgoto bruto nesta água de alimentação. Calculou-se a quantidade de esgoto bruto necessário para deixar a água com contaminação de coliformes, fecal e total, com média em torno de 10^4 NPM/10ml.

- Metodologia

No dia anterior a inoculação da água de alimentação foram realizadas coletas de esgoto bruto. Parcelas de 500 ml de esgotos foram coletados respeitando os seguintes horários: 8h, 11h, 14h e 17h. Com isso se conseguia uma homogeneização das características daquele esgoto.

Estas parcelas de esgoto urbano foram provenientes de um coletor de 700 mm da rede concessionária local, da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), que passa nas dependências do campus do Pici – UFC. A figuras 24 e 25, mostram o local de coleta do esgoto bruto.

FIGURAS 24 – Vista externa do local de coleta de esgoto bruto, rede concessionária local, Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), que passa nas dependências do campus do Pici – UFC, Fortaleza, Ceará 2006.

FIGURAS 25 – Vista interna do local de coleta de esgoto bruto, rede concessionária local, Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), que passa nas dependências do campus do Pici – UFC, Fortaleza, Ceará 2006.

As quatro coletas intercaladas de esgoto bruto foram misturadas em um único recipiente, de modo a unificar as coletas e obter 2000ml de esgoto bruto daquele dia de coleta. Depois da última coleta, às 17h, o recipiente contendo 2000ml de esgoto bruto era acondicionado em ambiente refrigerado, no Laboratório de Saneamento Ambiental – LABOSAN, no Departamento de Engenharia Hidráulica da Universidade Federal do Ceará, para que no outro dia se fizesse a inoculação na água de alimentação a ser utilizada no protótipo 3.

De acordo com os cálculos, foram necessários 222 ml, de esgoto bruto coletados e homogeneizados no dia anterior, para se obter uma água de alimentação com média de 10^4 (NPM/100 ml) de coliformes fecais e 10^5 (NPM/100 ml) de coliformes totais.

No dia seguinte à coleta de esgoto bruto, era realizada a inoculação com a adição do esgoto coletado e unificado, na quantidade já calculada de 222ml, inseridos em 60 litros de água da água de alimentação.

3.4.3.3. Análise físico-química e microbiológica das águas

Os ensaios realizados utilizando-se o protótipo 3 foram feitos em circuito fechado. Para cada ciclo de desinfecção enchia-se o tanque de água de alimentação com 60 litros de água inoculada.

A metodologia do ensaio era a seguinte:

- Total de água de alimentação inoculada com esgoto bruto: 60 Litros;
- 1ª Coleta de água processada pelo protótipo 3 foi realizada após 10 minutos de funcionamento do protótipo;
- A água processada pelo protótipo nestes 10 minutos iniciais era descartada;
- Para a análise microbiológica da água de alimentação, inoculada com esgoto bruto, foram realizadas duas diluições.
- Após os 10 minutos iniciais de funcionamento do sistema, eram realizadas 08 coletas de água processada em intervalos de 10 minutos cada; sendo assim distribuída: uma amostra da água bruta inoculada

com uma parcela de esgoto e sete amostras de água processada pelo reator.

3.4.3.4. Montagem do experimento para o protótipo 3

Para este protótipo foram inseridos alguns componentes periféricos que tornaram o sistema diferente dos protótipos anteriores.

A injeção de água de alimentação no reator foi feita por uma bomba centrífuga marca Danfoss, com potência de 1/3 CV, 220V. Sua capacidade de vazão máxima era de 4000 L/h, a seleção da vazão era realizada por uma válvula de esfera. A figura 26 apresenta a bomba hidráulica utilizada no protótipo 3. De acordo com Pera (1990), sob o ponto de vista termodinâmico, o aparelho de alimentação, deve realizar um trabalho representado pelo deslocamento de uma massa de água associada a uma pressão capaz de vencer as resistências oferecidas pelo circuito.

FIGURA 26 - Bomba hidráulica utilizada para injetar água de alimentação, protótipo 3, instalado no Parque Tecnológico do NUTEC, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza,Ceará 2004.

Antes de chegar ao reator a água de alimentação passava em duas unidades filtrantes do tipo de cartucho, conforme mostra a figura 27. Um com leito de celulose e outro com leito misto, de carvão ativado e celulose. Seu uso é justificado pela necessidade de se fazer a retenção de partículas de sólidos suspensos, presentes na água de alimentação que poderiam dificultar o processo de desinfecção.

FIGURA 27 – Unidades de filtros de cartucho utilizados antes da entrada de água de alimentação no reator de cavitação, protótipo 3.

Foi usado neste protótipo um coletor de fluido de saída, conforme mostrado na figura 28. Nesta peça o vapor que era expulso do reator, juntamente com uma pequena parcela de condensado eram misturados, imediatamente após a saída do reator, na tentativa de homogeneizar a temperatura da água com o vapor.

FIGURA 28 – Coletor de vapor e/ou água quente extraídos do reator de cavitação hidrodinâmico, protótipo 3.

Foi preciso dotar o sistema de alguns itens usados em caldeiras, preparando-o para trabalhar com vapor. Para a extração da parcela de fluido do coletor, composta por água quente, foi utilizado um purgador de bóia. Esta peça e essencial na remoção do condensado e frequentemente do ar e de outros gases incondensáveis que possam estar presentes em sistemas de vapor, sem que haja perdas de vapor vivo. O modelo utilizado foi de fabricação da Spirax Sarco, conforme mostrado na figura 29, equipado com um sistema integral de desaeração standart, e um sistema de proteção contra vapor preso. Com esta peça foi possível deixar o vapor livre de condensados.

FIGURA 29 – Purgador de bóia Spirax Sarco utilizado no reator de cavitação hidrodinâmica, protótipo 3.

Para a extração da parcela de fluido processado presente no coletor, composta por vapor, foi utilizado um separador de umidade Spirax Sarco, conforme mostrado na figura 30, sua função era drenar gotículas que poderiam vir a ser arrastadas pelo vapor. Assegurando a obtenção de um o vapor seco.

FIGURA 30 – Separador de umidade Spirax Sarco utilizado no reator de cavitação hidrodinâmica, protótipo 3.

Após a passagem do vapor, pelo separador de umidade, este era conduzido a uma serpentina de condensação que estava abrigada em um tanque de plástico de capacidade de 20 Litros. Conforme mostrado na figura 31, esta serpentina estava mergulhada em uma parcela de água de alimentação que fazia o resfriamento do vapor contido na serpentina. Com isso, a parcela de água de alimentação responsável pelo resfriamento do vapor era pré-aquecida para entrar no reator de cavitação. Na figura 31 também é possível constatar mais uma unidade filtrante, desta vez na saída do tanque de água processada.

FIGURA 31 – Tanque de condensação e pré-aquecimento da água de alimentação utilizados no reator de cavitação hidrodinâmica, protótipo 3.

O protótipo 3 ficou então constituído conforme mostram as figuras 32, 33, 34 e 35. Que dão idéia da seqüência de montagem do conjunto sobre uma estrutura suporte.

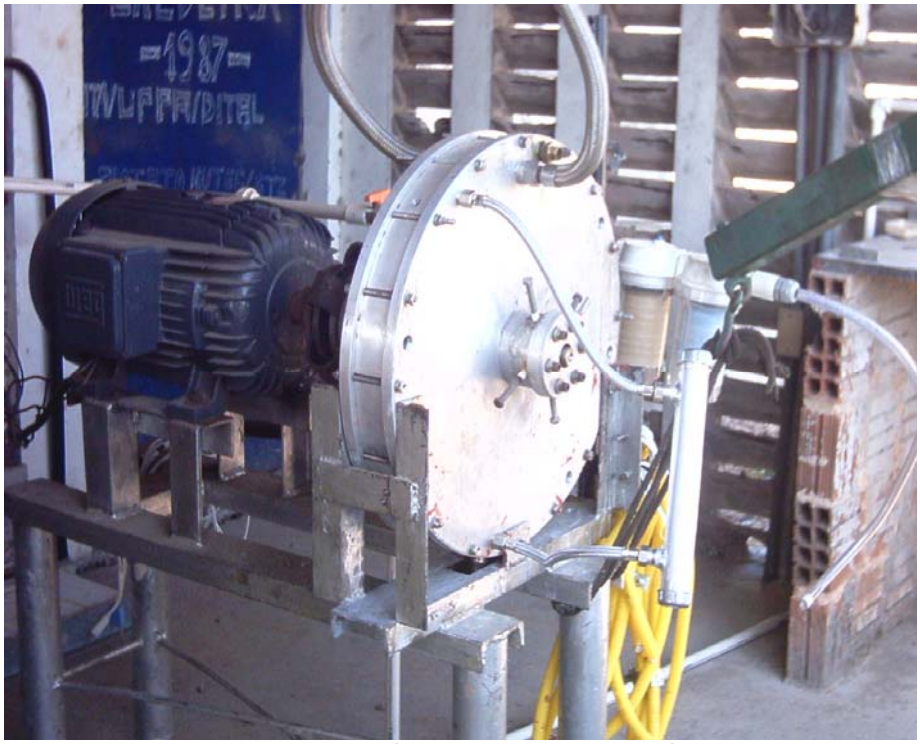


FIGURA 32 – Montagem do protótipo 3 com seus periféricos apoiados numa estrutura metálica, instalado no Parque Tecnológico do NUTEC, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza,Ceará 2006.

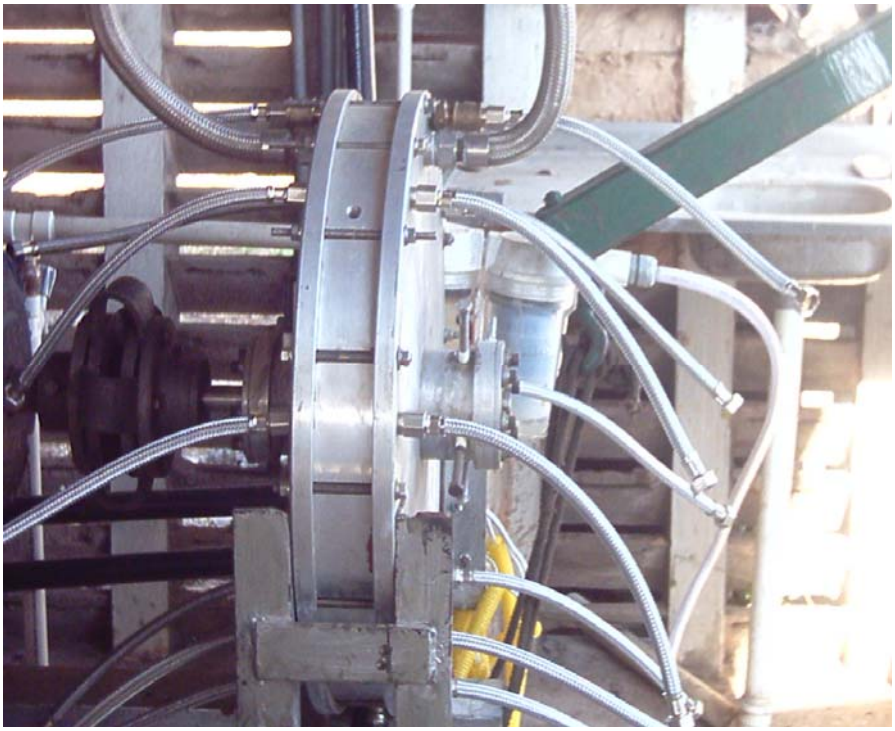


FIGURA 33 – Montagem parcial das mangueiras de passagem de fluido – protótipo 3, instalado no Parque Tecnológico do NUTEC, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza,Ceará 2006.

FIGURA 34 – Montagem finalizada do reator sem isolamento e com todos os periféricos – protótipo 3 , instalado no Parque Tecnológico do NUTEC, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza,Ceará 2006.

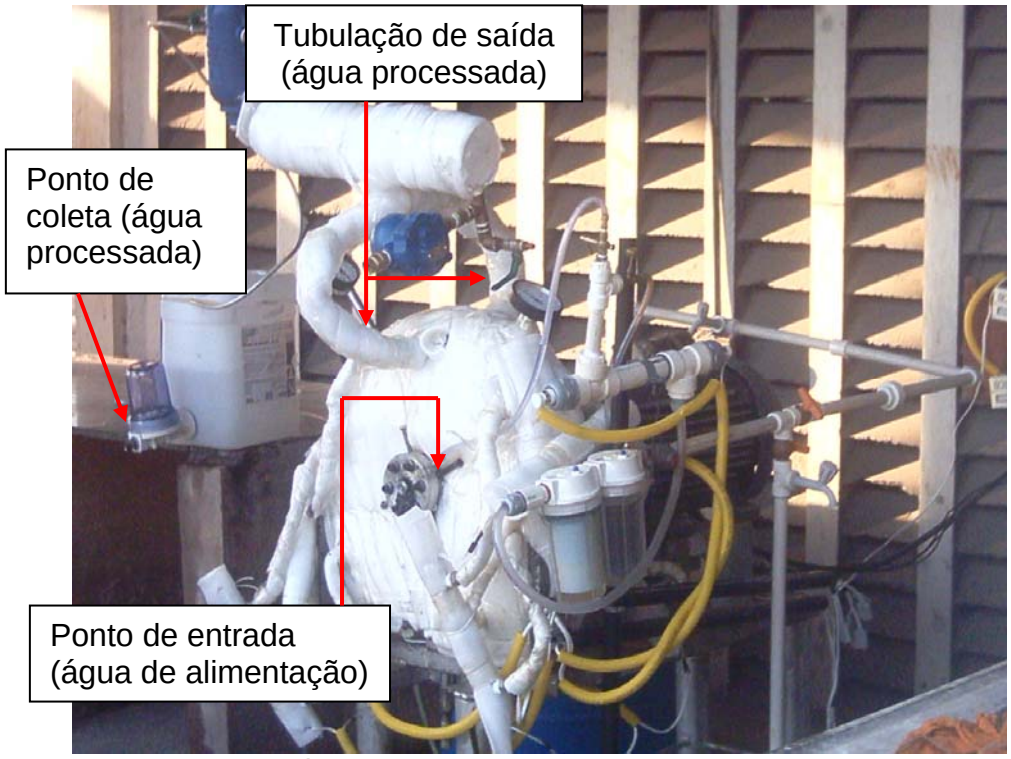


FIGURA 35 – Protótipo 3 montado com detalhes para o ponto de entrada, tubulação de saída e ponto de coleta da água processada. Instalado no Parque Tecnológico do NUTEC, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza,Ceará 2006.

3.4.3.5. Avaliação das alterações na geometria do reator

Igualmente como realizado no protótipo 2, foi proposta alterações na geometria dos componentes do reator. A diferença se deu exatamente no número de orifícios do rotor e no diâmetro do rotor. O objetivo desta alteração era proporcionar maior geração de ondas cavitantes.

3.4.3.6. Teste de diferentes vazões

Foram testados valores de vazões de: 40 L/h, 60 L/h, 80 L/h e 100 L/h.

3.5. Análise estatística dos dados

Foram tratados estatisticamente os dados referentes ao parâmetro físico-químico nitrato (NO_3^-), verificado nos protótipos 2 e 3. E dados da eficiência térmica obtida em função do tempo observado nos protótipos 1, 2 e 3.

O parâmetro nitrato (NO_3^-) foi escolhido por retratar presença de contaminação de origem antrópica. Representa uma forma de nitrogênio oxidada, presente em condições anaeróbias e indicador de poluição remota por esgotos domésticos. Este dado foi identificado em todas as amostras de água de alimentação e água processada analisadas. A portaria no. 518, de 25 de março de 2004 do Ministério da Saúde, estabelece os limites para o nitrato (10mg/L), para água de consumo humano.

O parâmetro eficiência térmica foi escolhido por retratar a performance atingida com a prototipagem realizada, por meio das alterações propostas de mudança de geometria nos reatores de cavitação hidrodinâmica. E também por que a eficiência térmica está intimamente relacionada com o objetivo desta pesquisa.

Os dados forma submetidos à análise estatística, utilizando o programa computacional Origin 5.0, denominado como para teste de One-Way Anova. Sendo demonstrados em gráficos tipo caixa. Esta modalidade gráfica foi escolhida por permitir a interpretação dos resultados obtidos de forma rápida e clara.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos durante a construção e teste dos protótipos tiveram como objetivo, o uso da cavitação hidrodinâmica na inativação de patógenos em águas destinadas ao abastecimento humano.

A prototipagem envolvendo o rotor do reator consistiu na observação, monitoração, avaliação e execução de alterações, onde tais modificações levariam a um último modelo, capaz de reunir as melhores condições para inativação de patógenos.

4.1. Avaliação de desempenho do protótipo 1

O primeiro protótipo de um reator de cavitação foi concebido em aço carbono 1020, objetivando o conhecimento específico e mais abrangente do que influi na produção e desenvolvimento do fenômeno de criação de ondas cavitantes e nos parâmetros que tem influência direta na sua otimização.

4.1.1. Avaliação do melhor ponto de injeção

Após algumas experiências preliminares, com o protótipo 1, foi possível apontar alterações que poderiam influenciar diretamente na eficiência térmica do protótipo do reator. O ponto de injeção de água de alimentação foi o primeiro ponto de influência a ser avaliado. Foram realizados testes envolvendo as duas possibilidades de injeção: pelas tampas laterais e pelos mancais laterais. O reator foi então submetido a mesma vazão, porém diferindo apenas por conta do ponto em que se faria a injeção da água de alimentação. Após a coleta de dados relativos a temperatura, observando os dois pontos de entrada de água, verificou-se um resultado superior na temperatura da água de alimentação quando realizada pelos mancais laterais. Nas figuras 36 e 37 estão plotados os valores médios das temperaturas verificadas ao longo de 130 tomadas de temperaturas para cada um das opções de injeção.

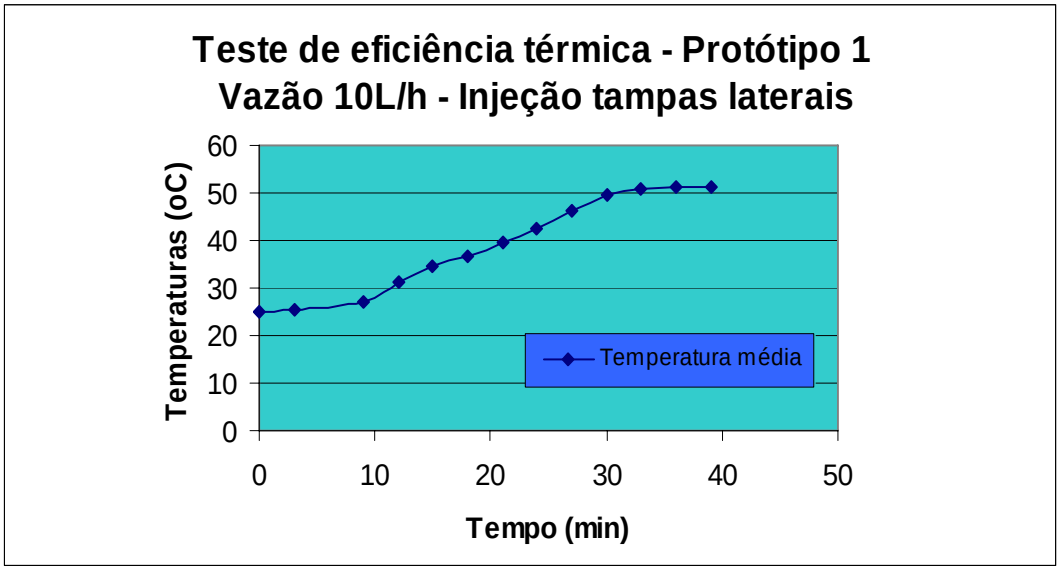


FIGURA 36 – Gráfico da média de resultados das tomadas de temperatura para o protótipo 1, com injeção de água de alimentação realizada pelas tampas laterais do reator de cavitação hidrodinâmico.

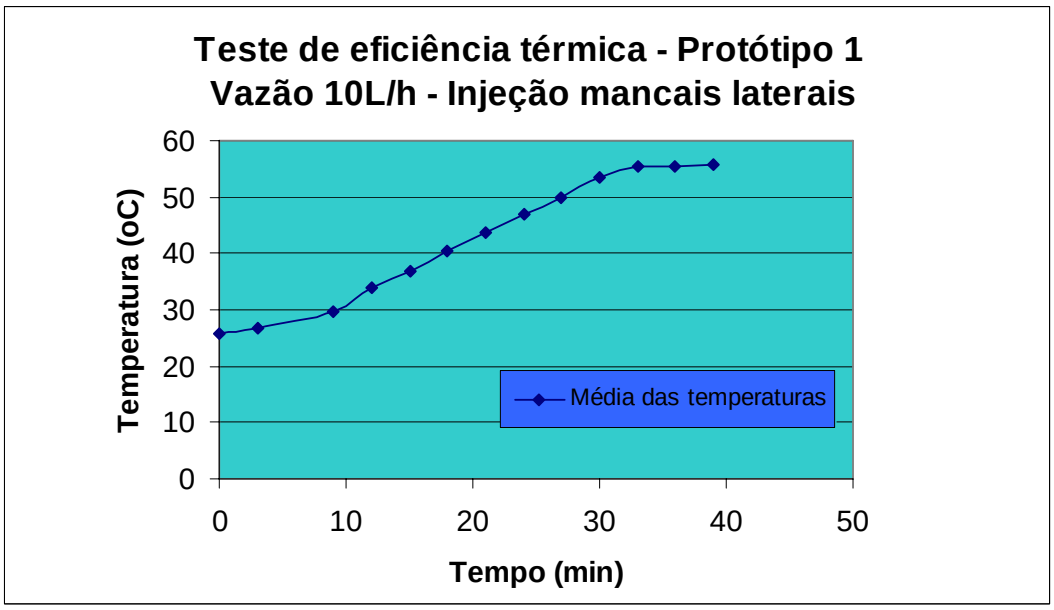


FIGURA 37 – Gráfico da média de resultados das tomadas de temperatura para o protótipo 1, com injeção de água de alimentação realizada pelos mancais laterais do reator de cavitação hidrodinâmico.

A alimentação realizada pela parte superior das tampas laterais favorece o resfriamento rápido da parcela de água que já se encontra sob ação das ondas cavitantes, ao passo que, a injeção realizada pelos mancais laterais é feita por uma zona central do reator que não apresenta atividade de ondas cavitantes. Desta forma, não há queda na eficiência térmica, desde que seja mantida a mesma vazão de alimentação.

4.1.2. Avaliação da eficiência térmica com diferentes vazões

Foi constatado, ao longo da pesquisa, que a vazão influencia diretamente o tempo em que a parcela de líquido entra no reator, permanecendo sob a ação das ondas cavitantes.

Com uma vazão balanceada é possível imprimir, à parcela de água que se encontra dentro do reator, tempo suficiente para seu aquecimento rápido, de preferência até atingir uma temperatura de ebulição, antes de atingir o ponto de saída do reator.

O protótipo 1 foi testado com valores de vazão de água de alimentação, de 10L/h, 15L/h e 20L/h. Foram realizadas 130 tomadas de temperaturas para cada uma destes valores de vazão. Os resultados estão apresentados nos figura 38 e 39.

Vale ressaltar que foi mantido, tanto para este protótipo 1 como para os outros, o ponto de injeção de água de alimentação pelos mancais laterais, tendo em vista os melhores resultados apresentados.

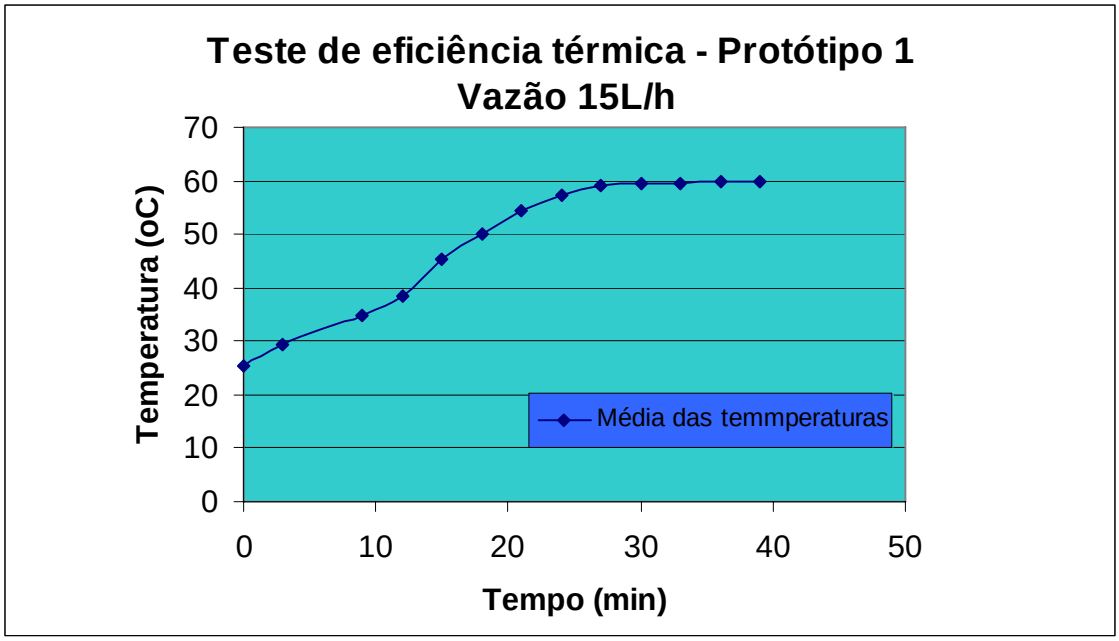


FIGURA 38 – Gráfico da média de resultados das tomadas de temperatura para o protótipo 1, com injeção de água de alimentação realizada pelos mancais laterais a uma vazão de 15 L/h.

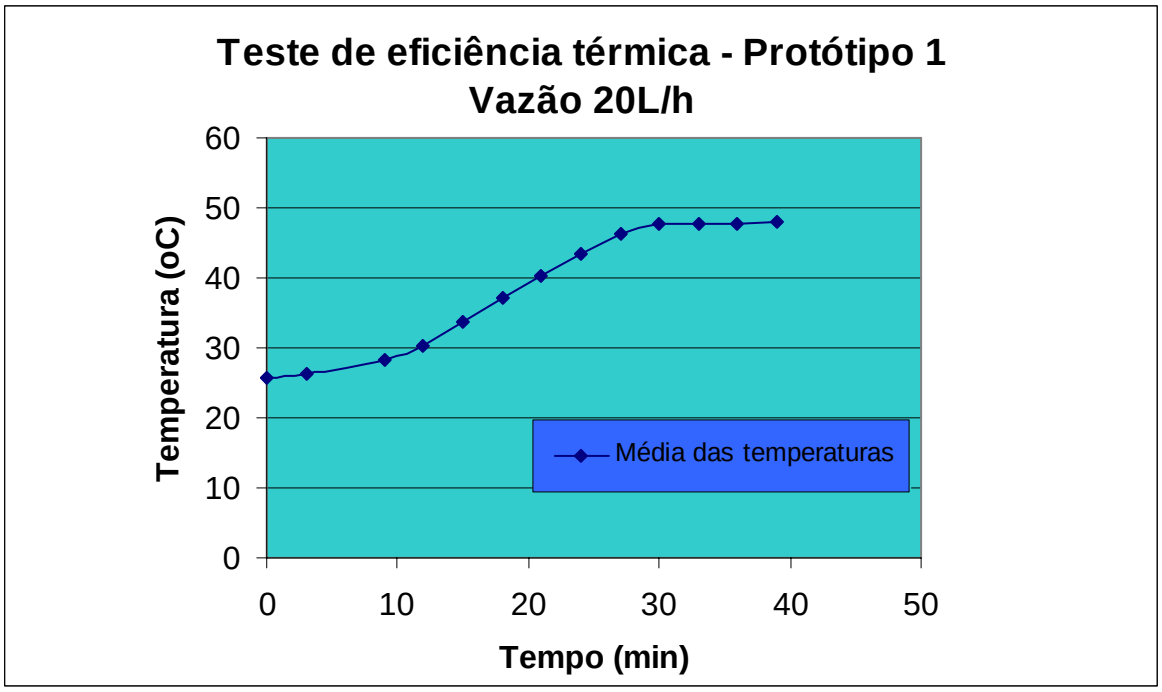


FIGURA 39 – Gráfico da média de resultados das tomadas de temperatura para o protótipo 1, com injeção de água de alimentação realizada pelos mancais laterais a uma vazão de 20 L/h.

Os resultados mostraram que para o protótipo 1, trabalhando com a vazão de 15 L/h, demonstrou ser o mais eficiente do que para os outros valores de vazões testados. Associando também a condição de injeção de água de alimentação pelos mancais laterais.

Fazendo um comparativo entre os valores da eficiência térmica alcançados nos diversos parâmetros de vazões e ponto de injeção, é possível se constatar que a melhor combinação de parâmetros, objetivando uma maior eficiência térmica, ficou com a vazão de 15L/h com a injeção de água de alimentação realizada pelos mancais laterais. Na figura 40 é apresentado este comparativo.

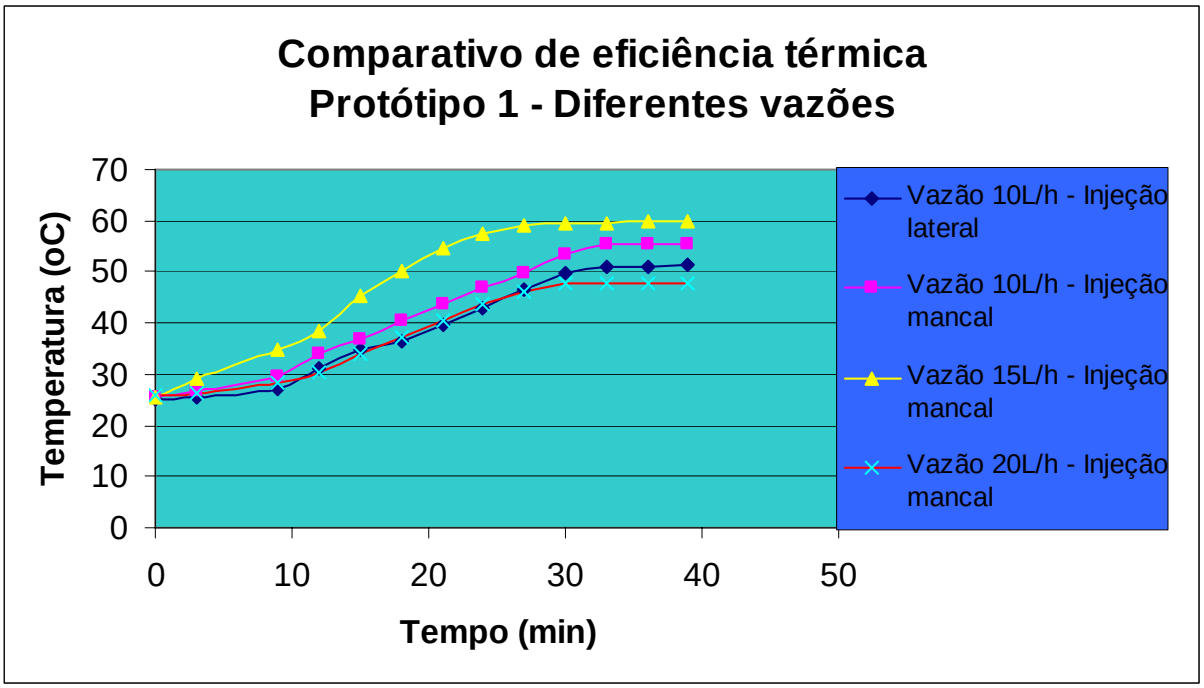


FIGURA 40 – Gráfico comparativo dos resultados observados no protótipo 1 para diferentes vazões e pontos de injeção.

Outras vazões foram verificadas, sendo que, para valores menores que 15L/h foi constatada uma situação onde o reator não tinha uma continuidade na expulsão da água processada. E para valores superiores a 20L/h observou-se um pequeno acréscimo de temperatura, na média de 44ºC para uma vazão de 25L/h.

4.1.3. Avaliação da qualidade físico-química da água de alimentação e água processada

As análises físico-químicas de amostras coletadas da água de alimentação e água processada, foram realizadas com a finalidade de avaliar as alterações provocadas nas características da água pelo fenômeno das ondas cavitantes. Os parâmetros vazão e ponto de injeção escolhidos foi o que apresentou melhores resultados verificados para o protótipo 1. Vazão de 15L/h com injeção de água de alimentação realizada pelos mancais laterais. No quadro 5, estão dispostos o resultado desta análise.

QUADRO 5 – Características físico-químicas da água de alimentação e processada pelo protótipo 1.

CARACTERÍSTICAS	Água Bruta	Água Processada	Comparativo
pH à 25º C	7,73	7,22	Estável
Alcalinidade parcial (mg$CaCO_3$/L)	Ñ detectado	ñ detectado	----------
Alcalinidade total (mg$CaCO_3$/L)	55,4	55,4	Estável
Dureza total (mg$CaCO_3$/L)	60,1	44,3	Redução
Nitritos (mgN-NO_2^{--}/L)	Ñ detectado	0,2	----------
Sólidos dissolvidos (mg/L)	210,0	230,0	Elevação
Sólidos totais (mg/L)	224,0	290,0	Elevação
Cálcio(mgCa^{++}/L)	2,4	4,3	Elevação
Magnésio (mgMg^{++}/L)	15,2	8,1	Redução
Sódio (mgNa^{+}/L)	33,9	24,1	Redução
Potássio (mgK^{+}/L)	16,5	35,8	Elevação
Ferro total (mgFe/L)	ñ detectado	9,4	----------
Cloretos (mgCl^{-}/L)	62,5	62,5	Estável
Carbonatos(mgCO_3^{--}/L)	ñ detectado	ñ detectado	----------
Bicarbonatos(mgHCO_3^{-}/L)	67,6	67,6	Estável
Hidróxidos(mgOH^{-}/L)	ñ detectado	ñ detectado	----------
Sulfatos(mgSO_4^{--}/L)	8,8	9,2	Elevação
Nitratos(mgN-NO_3^{-}/L)	2,9	7,9	Elevação
Maganês (mg/LMn)	ñ detectado	ñ detectado	----------
Cromo (mg/LCr)	ñ detectado	0,05	----------

A partir dos dados expostos, verificou-se que as características da água no quadro comparativo, marcados em vermelho, sofreram elevação nos seus índices. Isto após passarem pelo protótipo. Diante destes resultados foram apontadas alterações do tipo: material utilizado na usinagem de partes internas do reator, já que o material escolhido para a manufatura do rotor, neste protótipo 1, foi o aço carbono 1020 e este material favoreceu a contaminação química da água pela oxidação. Além disso, outro ponto que nos chamou atenção foi a baixa temperatura atingida nos primeiros minutos de funcionamento. Desta forma, era necessária a primeira intervenção na geometria inicial dada ao rotor.

A temperatura verificada na água processada não apresentava condições favoráveis a uma possível ebulição da parcela de água que estava sendo processada pelo reator. Além dessa baixa performance térmica, a oxidação era muito evidente, a água processada apresentava acentuada cor escura indicando situação de corrosão interna intensa. Este quadro inviabilizava as investigações quanto a qualidade microbiológica alcançada para o protótipo 1.

4.2. Avaliação do desempenho do protótipo 2

Com os parâmetros estudados no protótipo 1, foi possível delinear modificações para construção do segundo protótipo com atenção especial para uma nova geometria do rotor, de modo a oferecer maior possibilidades de crescimentos de ondas cavitantes e seleção de uma liga metálica para usinagem do: rotor, tampas laterais, mancais laterais, eixo e câmara.

4.2.1. Avaliação da mudança na geometria do reator

Os resultados obtidos com o protótipo 1 mostravam que a concepção do rotor, até então utilizada, promovia alterações na temperatura da água a ser tratada. Embora com elevações ainda tímidas, para o objetivo deste estudo, mas com um forte indício de que este parâmetro influenciava a produção dos borbulhos, advindos da presença de ondas cavitantes no ambiente interno do reator.

Providenciou-se então, o aumento no número de orifícios para o rotor do protótipo 2 em relação ao realizado no protótipo 1, a fim de se obter maior formação de borbulhos advindos das ondas cavitantes. Com estas alterações aplicadas conseguiu-se alcançar resultados bem superiores aos que foram verificados no primeiro protótipo, no quesito eficiência térmica.

É apresentado na figura 41 a obtenção de uma maior faixa de elevação de temperatura da água processada. Deixando o protótipo 2 em patamares próximos ao alcance da ebulição da água de alimentação. Já eram possíveis se ver pequenas rajadas de vapor, embora de maneira intermitente, mas que já indicava uma atividade mais concentrada de ondas cavitantes.

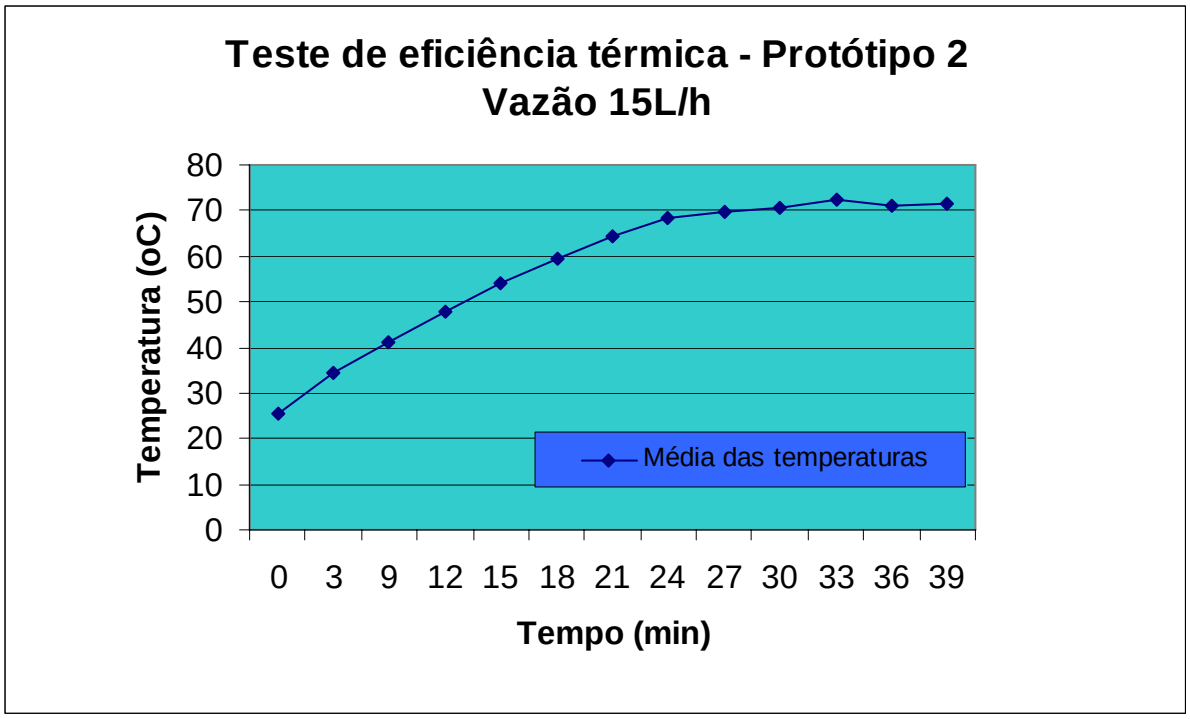


FIGURA 41 – Gráfico da média dos resultados das tomadas de temperatura observados no protótipo 2, funcionando com vazão de 15L/h.

Ao serem comparados os resultados de eficiência térmica conseguidos com os melhores parâmetros observados no protótipo 1 e no protótipo 2, ambos funcionando com: mesma vazão (15 L/h) e ponto de injeção de água de alimentação nos mancais laterais, ficou evidente o aumento da eficiência térmica conseguida. Ressaltando que, estes protótipos só se diferenciavam na geometria dada ao rotor, provando que a alteração no número dos orifícios, usinados no rotor, estariam influenciando diretamente a formação de atividade cavitante. Na figura 42 está apresentado este comparativo das performances térmicas para os protótipos 1 e 2.

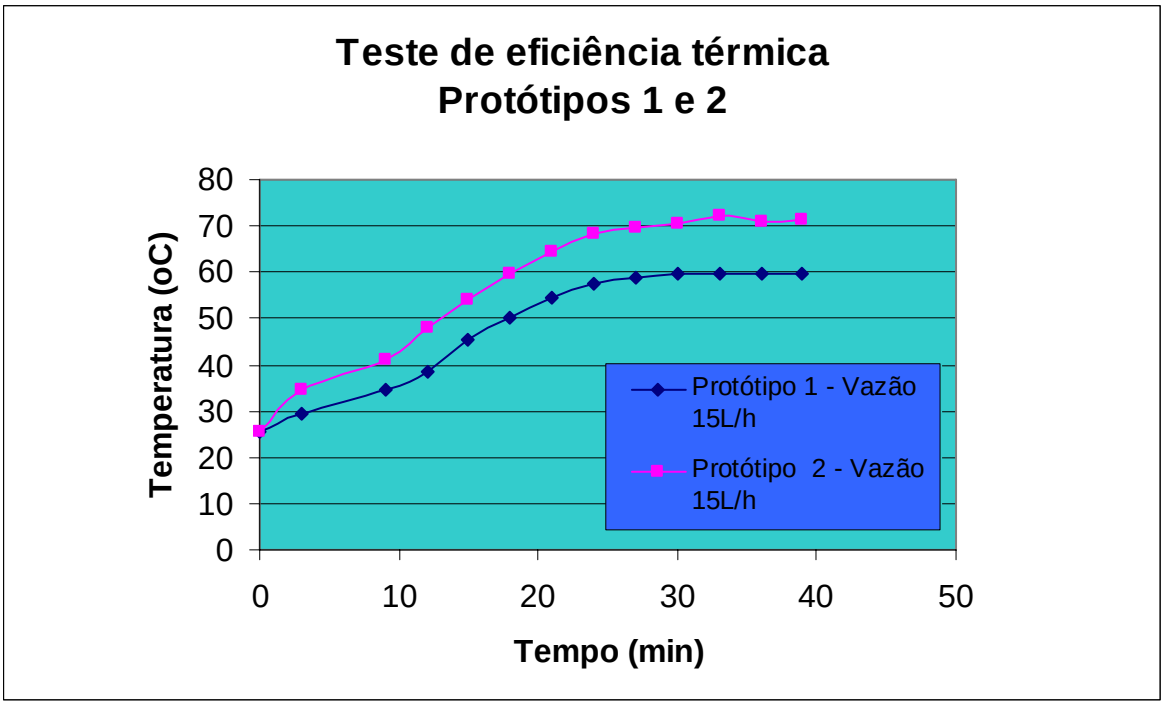


FIGURA 42 – Gráfico comparativo dos resultados observados entre os protótipos 1 e 2, funcionando com a mesma vazão de 15L/h e injeção realizado pelos mancais laterais.

4.2.3. Avaliação da eficiência térmica com diferentes vazões

A alteração no número dos orifícios do rotor permitia um aumento de vazão, visto que, se ampliavam os espaçamentos no ambiente interno do reator. Portanto foi providenciado uma vazão de 20 L/h e realizada a avaliação da eficiência térmica alcançada. Na figura 43 estão plotados a eficiência térmica conseguida com esta vazão, em relação aos valores alcançados com vazão de 15L/h, para este mesmo protótipo 2.

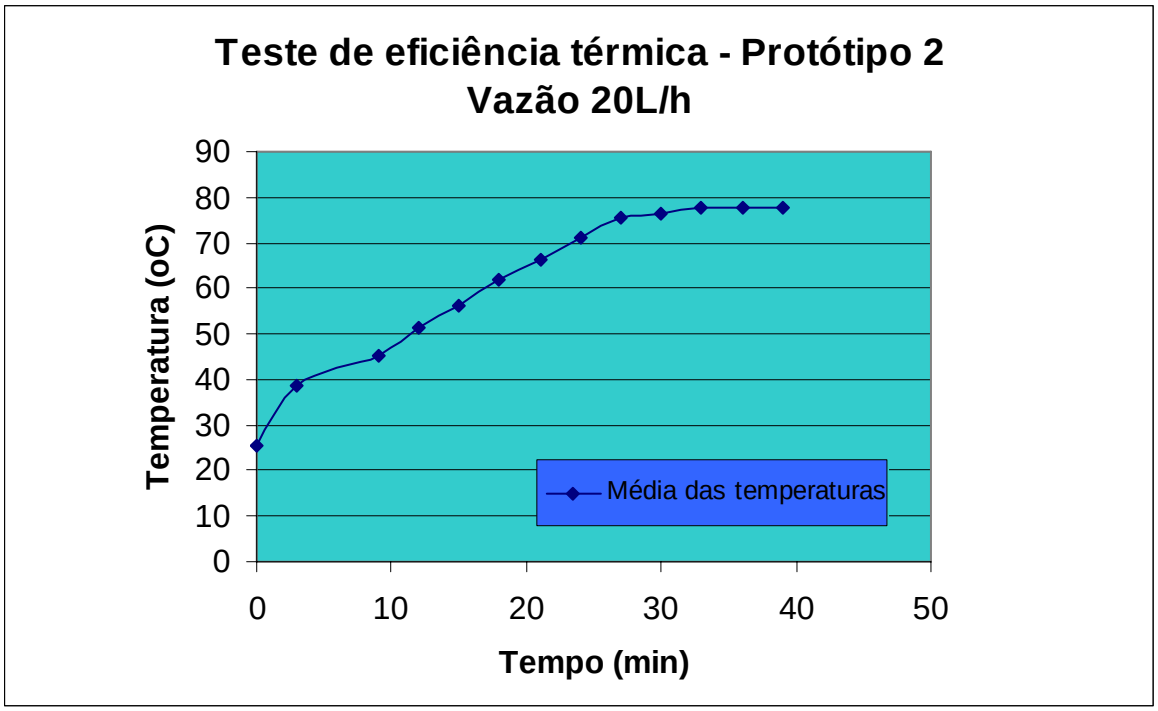


FIGURA 43 – Gráfico da média de resultados das tomadas de temperatura observados no protótipo 2, funcionando com vazão de 20L/h.

A partir de então procedemos com uma nova análise de eficiência em função de um novo aumento de vazão de água de alimentação. A figura 44 apresenta este resultado com o protótipo 2 funcionando a uma vazão de 25L/h.

Foi observado uma diminuição significativa no rendimento térmico, ou seja, a vazão de 25L/h estava provocando uma expulsão, da parcela de água a ser tratada, muito rápida. Com isso reduzia o tempo de exposição da água às ondas cavitantes, ou seja, a parcela de água em processo de tratamento, no ambiente interno do reator, era expulsa rapidamente, não dando tempo para a troca de calor provocada com a implosão dos borbulhos gerados pela cavitação.

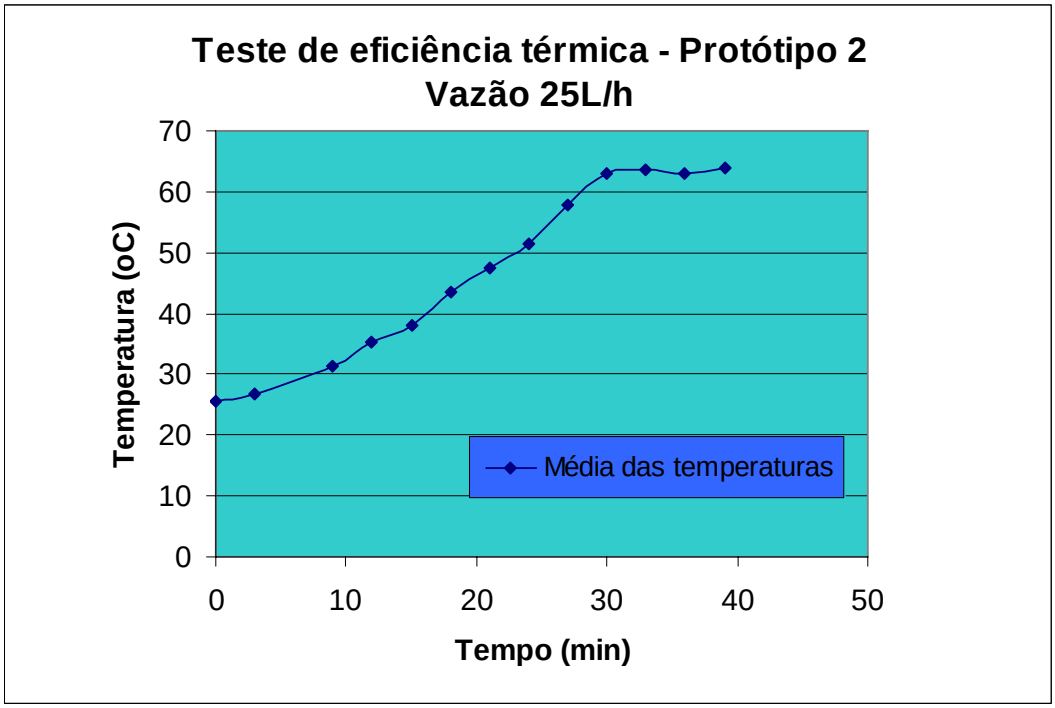


FIGURA 44 – Gráfico da média de resultados das tomadas de temperatura para o protótipo 2, para uma vazão de 25L/h.

Um comparativo entre os valores de eficiência térmica conseguidos com o protótipos 2, trabalhando com diferentes vazões, está apresentado na figura 45. Nestes resultados pode se ver a influência, na eficiência térmica, provocada por valores diferentes de vazões aplicadas ao mesmo protótipo.

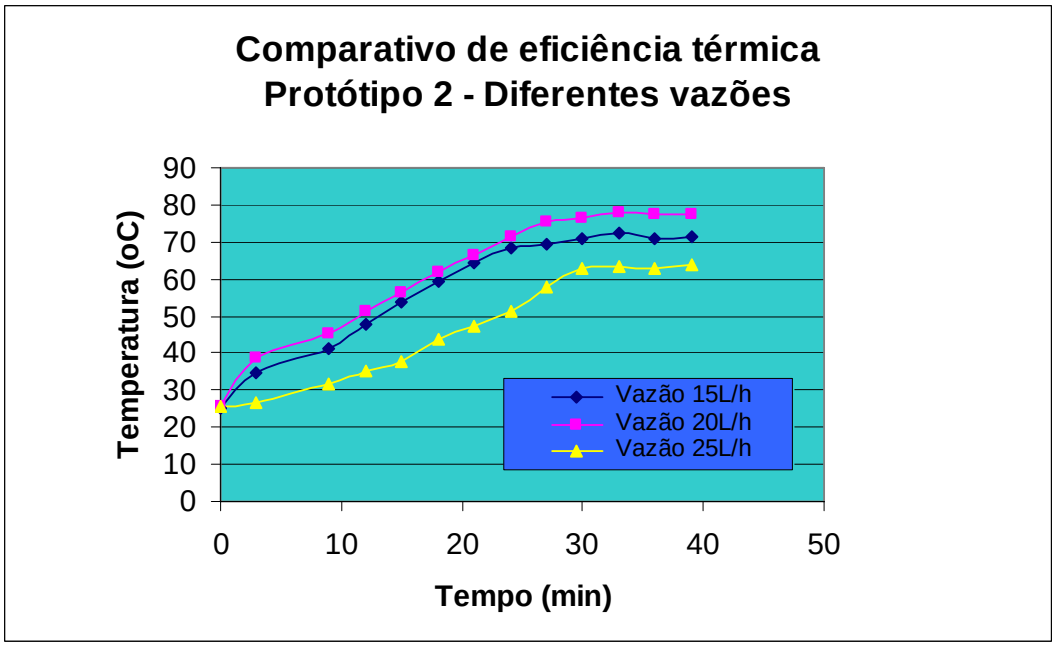


FIGURA 45 – Gráfico comparativo dos resultados do protótipo 2, funcionando com diferentes vazões de água de alimentação.

4.2.4. Avaliação da qualidade físico-química e microbiológica da água de alimentação e processada

Com os resultados obtidos no protótipo 2 com relação a eficiência térmica alcançada demonstrando patamares de temperatura próxima a ebulição, estava evidente que o momento era ideal para se realizar as primeiras análises bacteriológicas.

As análises foram realizadas com a utilização do protótipo 2, funcionando com a melhor vazão avaliada até então, de 20L/h. Os resultados estão demonstrados nos quadros 6 e 7.

QUADRO 6 - Resultado da 1ª análise microbiológica realizada utilizando-se o protótipo 2.

Análise bacteriológica 01		
Parâmetros	**Água de Alimentação**	**Água Processada**
Coliformes totais (NPM/100mL)	4	4
Coliformes fecais(NPM/100mL)	<3	<3
Bactérias heterotróficas(UFC/100mL)	$2x10^2$	3,6x10

QUADRO 7 - Resultado da 2ª análise microbiológica realizada utilizando-se o protótipo 2.

Análise bacteriológica 02		
Parâmetros	**Água de Alimentação**	**Água Processada**
Coliformes totais (NPM/100mL)	4	9
Coliformes fecais(NPM/100mL)	<3	<3
Bactérias heterotróficas(UFC/100mL)	$2,2x10^2$	$9,9x10^2$

Apesar de atingir uma elevação na intensidade de formação de ondas cavitantes para este protótipo 2 em comparação com o protótipo 1, constatado no aumento da temperatura da água processada durante o funcionamento do protótipo 2, e também um significativo aumento da vazão de alimentação. Os resultados das análises microbiológicas não foram animadores. Observa-se, através dos quadros 6 e 7, que houve aumento nos níveis de coliformes totais e no número de unidades

formadoras de colônia, quando se comparam seus valores na água de alimentação e, após tratamento, como água processada.

Procedeu-se então com a desmontagem do reator e exame das partes internas em busca de evidências para tal resultado. Verificou-se que, uma boa parte do cromo que havia sido aplicado nas superfícies das peças internas do reator estavam se desprendendo e misturando-se a parcela de água que estava sendo processada dentro do reator. Tal fato pode ocasionar um depósito de impurezas e uma possível proteção aos microrganismos presentes na água de alimentação. Este fato pode ser constatado na figura 46, onde é possível observar o rotor completamente descamado do cromo superficial, bem como, a presença de depósitos de impureza fruto da oxidação.

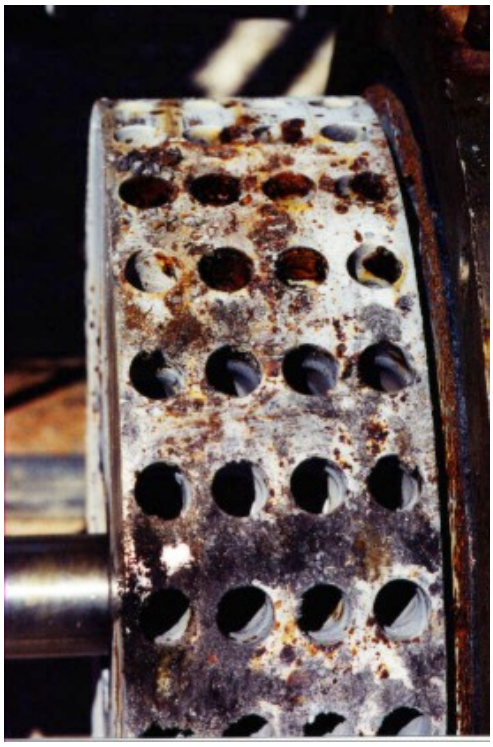


FIGURA 46 – Rotor utilizado no protótipo 2, impregnado com oxidação e outras impurezas.

Também foram realizados análises físico-químicas que podem ser visualizadas no quadro 8, utilizando-se o protótipo 2, com vazão de água de alimentação de 20L/h.

QUADRO 8 – Características físico-químicas da água de alimentação e processada pelo protótipo 2.

CARACTERÍSTICAS	Água Bruta	Água Processada	comportamento
pH à 25º C	7,46	8,03	Elevação
Condutividade (micromhos / cm)	242,0	260,0	Elevação
Alcalinidade parcial (mg$CaCO_3$/L)	ñ detectado	ñ detectado	----------
Alcalinidade total (mg$CaCO_3$/L)	36,2	43,2	Elevação
Dureza total (mg$CaCO_3$/L)	37,0	20,4	Redução
Matéria Orgânica (mgO_2cons/L)	ñ detectado	ñ detectado	----------
Nitritos (mgN-NO_2^{--}/L)	ñ detectado	0,4	----------
Sólidos dissolvidos (mg/L)	180,0	194,0	Elevação
Sólidos totais (mg/L)	210,0	228,0	Elevação
Cálcio(mgCa^{++}/L)	5,1	6,2	Elevação
Magnésio (mgMg^{++}/L)	5,9	1,2	Redução
Sódio (mgNa^{+}/L)	44	52	Elevação
Potássio (mgK^{+}/L)	4	5,3	Elevação
Ferro total (mgFe/L)	0,5	0,7	Elevação
Cloretos (mgCl^{-}/L)	54,6	56	Elevação
Carbonatos(mgCO_3^{--}/L)	ñ detectado	ñ detectado	----------
Bicarbonatos(mgHCO_3^{-}/L)	44,1	52,7	Elevação
Hidróxidos(mgOH^{-}/L)	ñ detectado	ñ detectado	----------
Sulfatos(mgSO_4^{--}/L)	17,8	18,6	Elevação
Nitratos(mgN-NO_3^{-}/L)	0,2	ñ detectado	----------

É incontestável que os resultados ainda não foram satisfatórios, sob o ponto de vista de redução de parâmetros físico-químicos da água de alimentação. Acredita-se que estes resultados também tenha sido agravados pelo desprendimento da camada de cromo que revestia as partes internas do reator, bem como, de outros metais que formam a liga metálica do rotor, lançando na água, a ser tratada, muitos resíduos metálicos.

4.3. Avaliação de desempenho do protótipo 3

4.3.1. Avaliação da mudança na geometria do reator

É importante ressaltar que, através dos resultados animadores identificados no rendimento térmico do protótipo 2, decidiu-se por uma nova alteração no número dos orifícios do rotor, agora para o protótipo 3. Consequentemente ampliando também a faixa de vazão de água de alimentação. Esta apresentado na figura 47 o resultado desta alteração, verificando-se um aumento substancial no rendimento térmico do reator, indicando uma elevação no

potencial de geração de borbulhos, advindos da atividade cavitante no ambiente interno do reator.

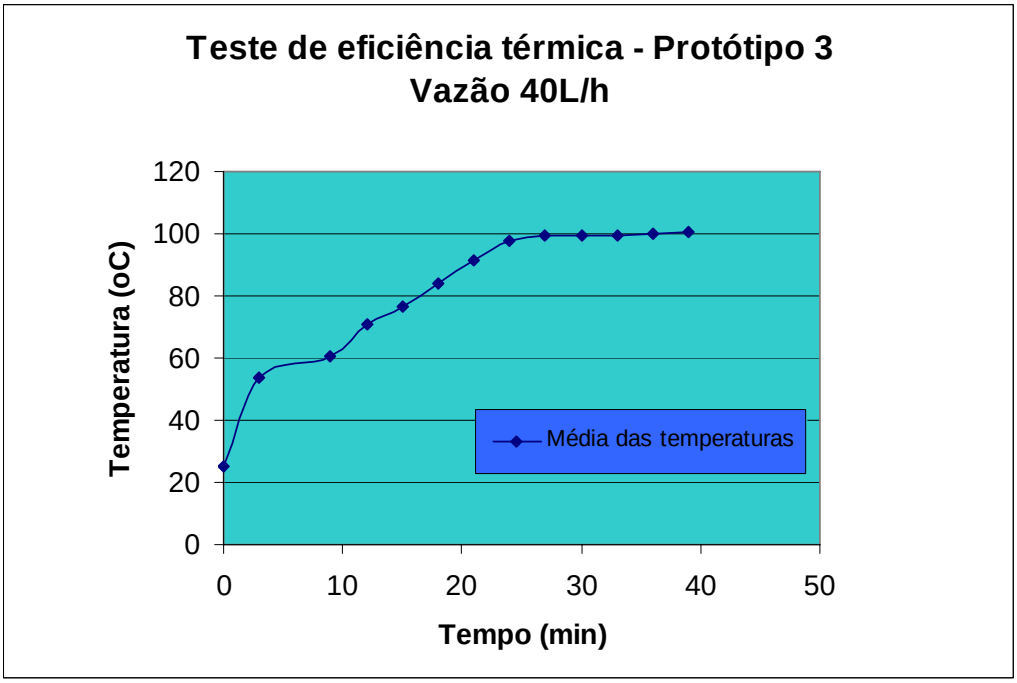


FIGURA 47 – Gráfico da média dos resultados para tomadas de temperatura observados no protótipo 3.

Com estes resultados ficou evidente a presença de vapor na saída do reator. Diferente do resultado obtido nos protótipos anteriores, quando se verificou apenas água aquecida e uma tímida presença de vapor no segundo protótipo.

4.3.2. Avaliação da eficiência térmica com diferentes vazões

Seguindo a mesma linha de raciocínio dos protótipos anteriores foi realizado uma série de testes envolvendo diferentes vazões, visto que, este parâmetro tem influência direta no tempo de retenção conferido a parcela de água que esta sendo processada. Conforme mostrado na figura 48, constata-se que o protótipo 3, apresentou melhores resultados térmicos, trabalhando com uma vazão de 60L/h, se comparado com os resultados da vazão de 40L/h. Ou seja, não houve queda nos valores de temperatura obtidos na saída do reator, indicando que esta

vazão ainda proporcionava uma maior geração de borbulhos advindos da cavitação gerada no ambiente interno do reator.

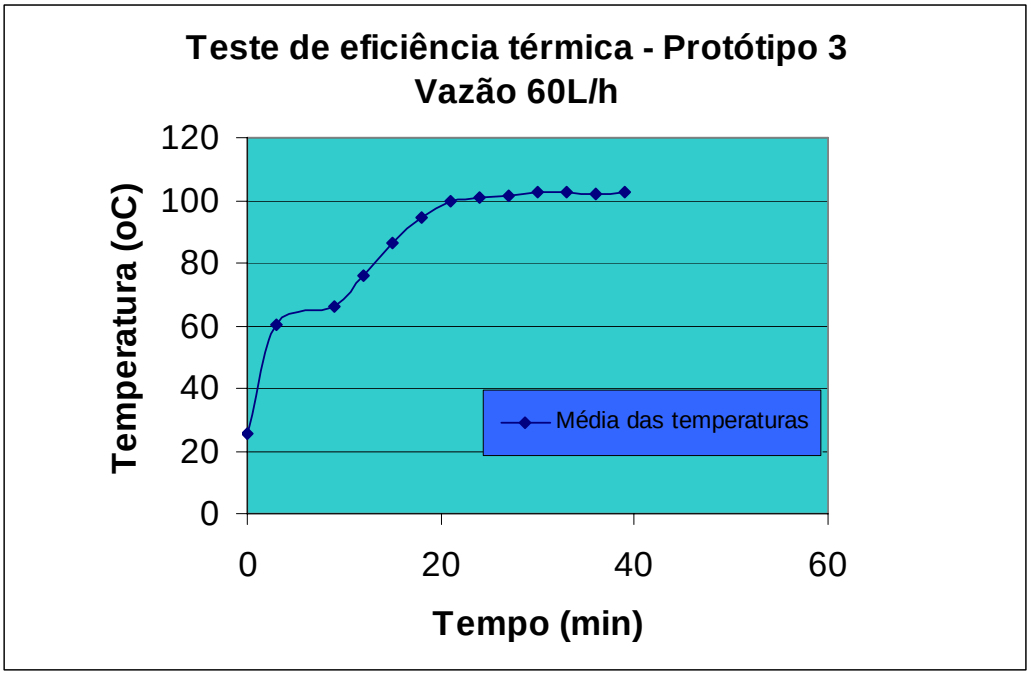


FIGURA 48 – Gráfico da média dos resultados das tomadas de temperatura observados no protótipo 3, para uma vazão de 60L/h.

A avaliação seguiu para outros valores de vazões: 80 L/h e 100L/h, conforme esta apresentado nas figuras 49 e 50.

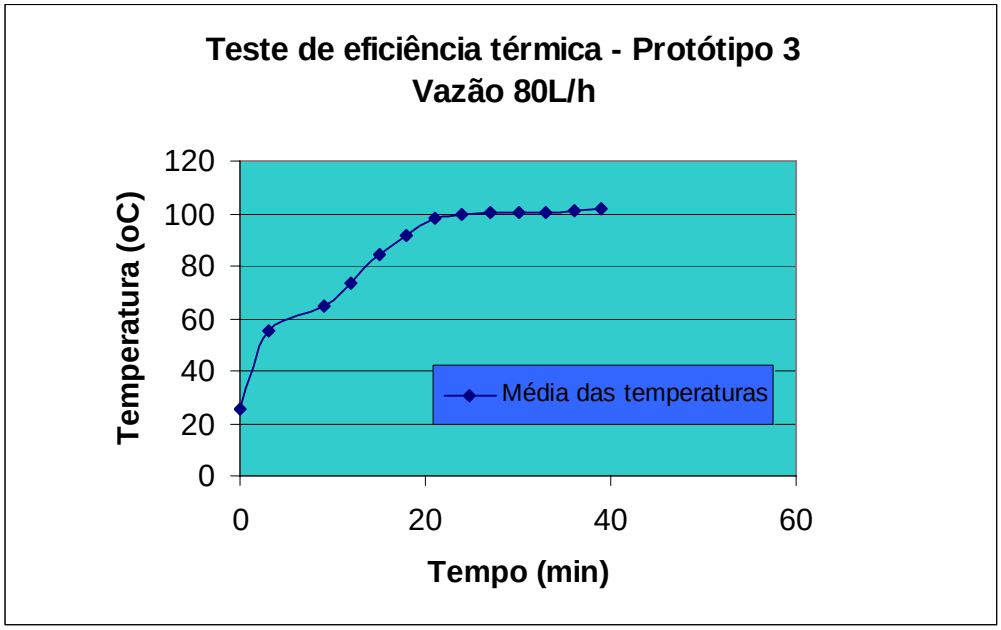


FIGURA 49 – Gráfico da média de resultados das tomadas de temperatura observados no protótipo 3, com vazão de 80L/h.

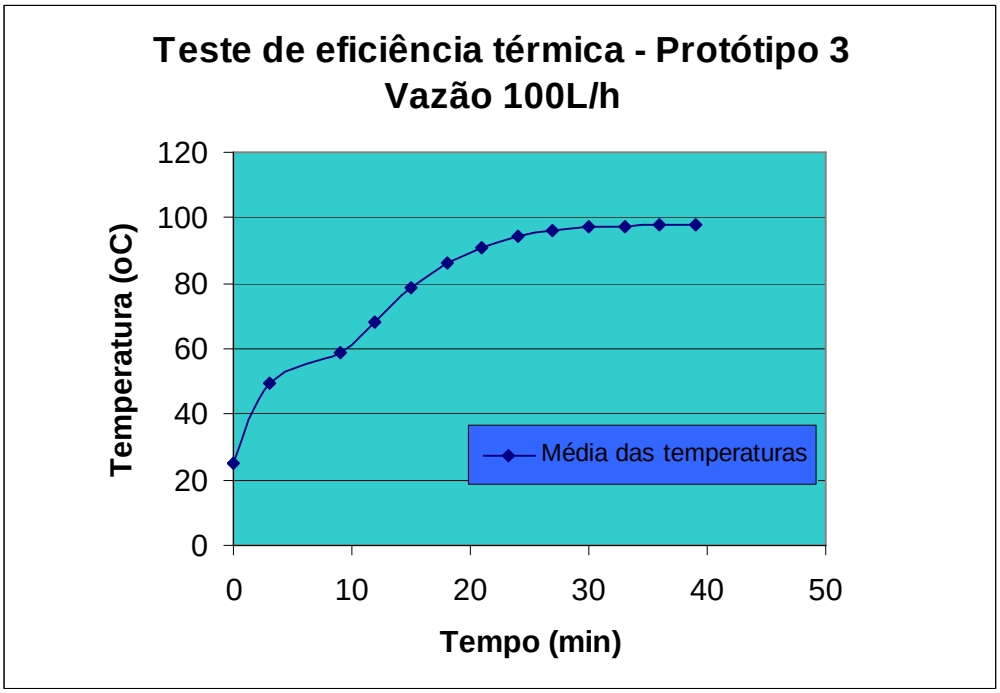


FIGURA 50 – Gráfico da média de resultados das tomadas de temperatura observados no protótipo 3, com vazão de 100L/h.

Observando a plotagem dos valores das vazões aplicadas no protótipo 3, conforme apresentado na figura 51 nota-se que, a vazão de 60L/h provoca uma velocidade de aquecimento bem superior ao observado nas outras vazões. Pois, com essa vazão se alcança 60º C em menos de 3 minutos de funcionamento do equipamento. Condição não verificada nas outras vazões testadas para o mesmo protótipo 3.

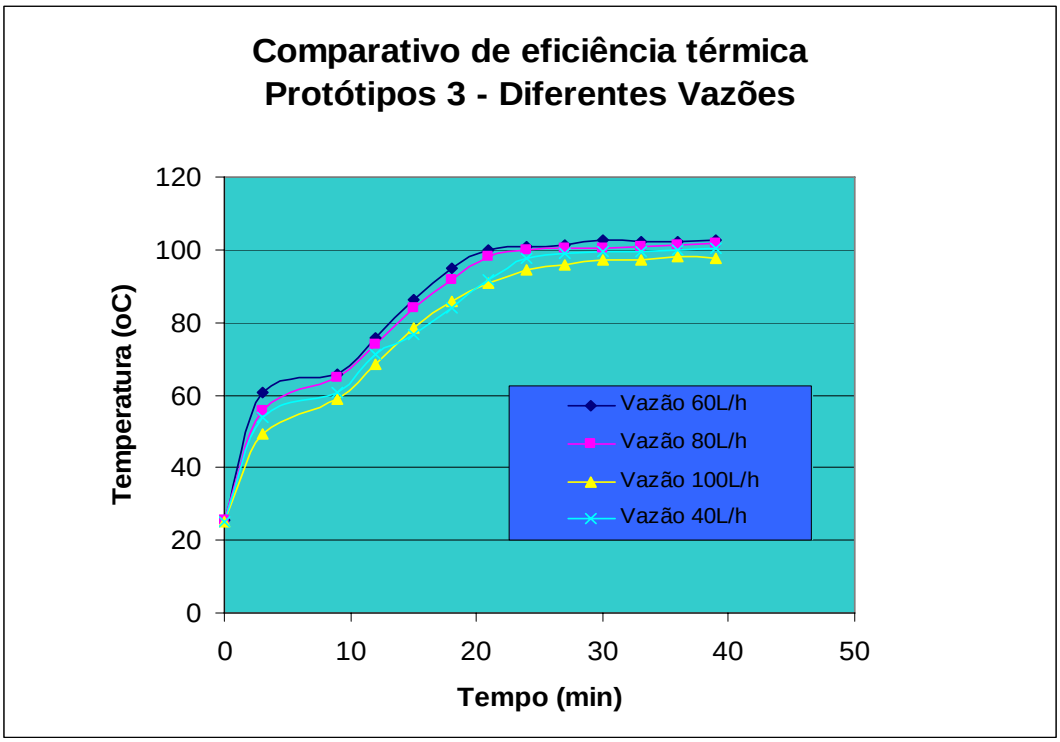


FIGURA 51 – Comparativo de resultados apresentados pelo protótipo 3, com diferentes vazões de alimentação.

Esse resultado permite que a parcela de água de alimentação, que se encontra no ambiente interno do reator, permaneça mais tempo sob uma temperatura na faixa de ebulição (100ºC). Logo, impõem uma maior condição de desnaturação das proteínas dos microrganismos.

Através da figura 52 é possível constatar essa velocidade de atendimento à faixa dos 60ºC, alcançada pelo protótipo 3, em comparação com todos os protótipos produzidos. Além disso, a temperatura de estabilização, conferida nesse protótipo 3, foi conseguida em menor tempo e numa temperatura de 100ºC.

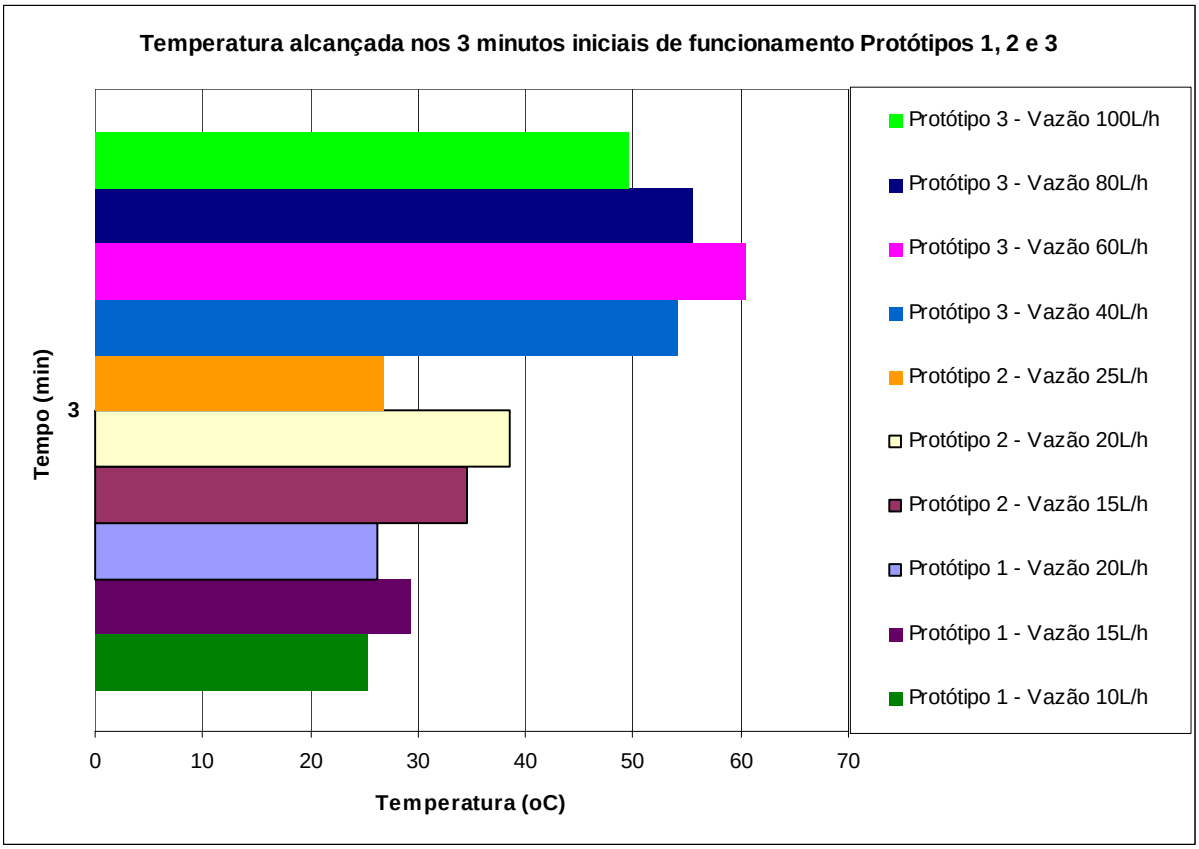


FIGURA 52 – Média de resultados das tomadas de temperatura efetuados nos primeiros 3 minutos de funcionamento dos protótipos construídos.

Os resultados obtidos foram bem superiores aos dos outros protótipos construídos. Através das figuras 52 e 53 é possível visualizar o grau de excelência no poder de geração de ondas cavitantes, obtidos pelo protótipo 3, trabalhando com uma vazão de 60 L/h, em comparação com todos os outros modelos concebidos durante a pesquisa.

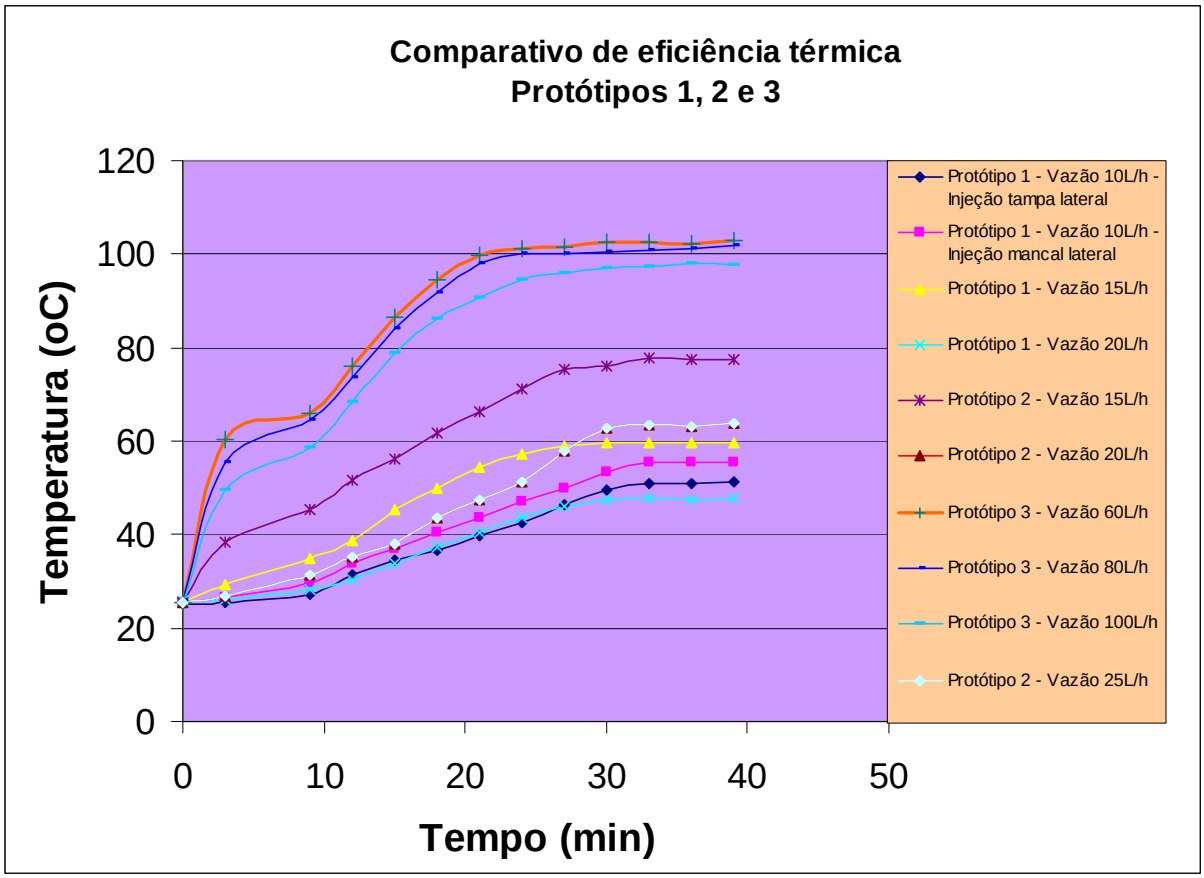


FIGURA 53 – Comparativo de resultados de eficiência térmica apresentados por todos os modelos de protótipos construídos.

O protótipo 3 trabalhando com vazão de 60 L/h, foi escolhido para dar continuidade ao atendimento do objetivo desta pesquisa. Seguindo com as avaliações das análises físico-química e microbiológicas da água de alimentação e da água processada.

4.3.3. Avaliação da qualidade físico-química e microbiológica da água de alimentação e processada

Os resultados das análises físico-químicas utilizando o protótipo 3, com vazão de 60L/h, demonstraram reduções em todos os itens analisados. Ressaltando-se reduções consideráveis nos níveis de condutividade, alcalinidade parcial e total, dureza total, magnésio, carbonatos, bicarbonatos e nitratos, conforme mostrado no quadro 9.

QUADRO 9 – Características físico-químicas da água de alimentação e água processada pelo protótipo 3.

CARACTERÍSTICAS	Água alimentação	Água alimentação Inoculada	Água Processada	Comparativo
pH à 25º C	7,91	8,07	7,15	Redução
Condutividade (micromhos / cm)	1012,0	964	860,0	Redução
Alcalinidade parcial (mg$CaCO_3$/L)	2,0	10,9	ñ detectado	----------
Alcalinidade total (mg$CaCO_3$/L)	254,4	248,5	163,4	Redução
Dureza total (mg$CaCO_3$/L)	156,0	145,1	62,6	Redução
Matéria Orgânica (mgO_2cons/L)	ñ detectado	0,6	ñ detectado	----------
Nitritos (mgN-NO_2^{--}/L)	0,01	0,3	0,04	Redução
Sólidos dissolvidos (mg/L)	758,0	721,0	602,0	Redução
Sólidos totais (mg/L)	842,0	834,0	796,0	Redução
Cálcio(mgCa^{++}/L)	11,4	8,4	8,4	Redução
Magnésio (mgMg^{++}/L)	31,0	30,2	10,1	Redução
Sódio (mgNa^{+}/L)	160,0	158,0	154,0	Redução
Potássio (mgK^{+}/L)	30,7	28,0	27,3	Redução
Ferro total (mgFe/L)	0,2	0,9	0,2	Redução
Cloretos (mgCl^{-}/L)	157,4	157,9	153,2	Redução
Carbonatos(mgCO_3^{--}/L)	2,4	13,1	ñ detectado	----------
Bicarbonatos(mgHCO_3^{-}/L)	305,6	276,6	199,3	Redução
Hidróxidos(mgOH^{-}/L)	ñ detectado	ñ detectado	ñ detectado	----------
Sulfatos(mgSO_4^{--}/L)	54,2	43,9	46,5	Redução
Nitratos(mgN-NO_3^{-}/L)	3,1	9,6	1,1	Redução

Análises microbiológicas também foram realizadas com a utilização do protótipo 3, trabalhando com vazão de 60 L/h.

A seguir são apresentados nos quadros 10, 11, 12, 13, 14 e 15 resultados destas análises.

QUADRO 10 - Resultado da 1ª análise microbiológica, realizada utilizando-se o protótipo 3.

RESUMO DE RESULTADO - Exame No.1 – 02/02/06 Análise Microbiológica – Protótipo 3.1		
Parâmetros	**Água Alimentação inoculada**	**Água Processada**
Coliformes totais (NPM/100mL)	$2,41x10^6$	<1
Coliformes fecais(NPM/100mL)	$36,4x10^4$	<1

QUADRO 11 - Resultado da 2ª análise microbiológica, realizada utilizando-se o protótipo 3.

RESUMO DE RESULTADO – Exame No.2 – 09/02/06 Análise Microbiológica - Protótipo 3.1		
Parâmetros	**Água Alimentação inoculada**	**Água Processada**
Coliformes totais (NPM/100mL)	$2,905x10^6$	<1
Coliformes fecais(NPM/100mL)	$1,425x10^6$	<1

QUADRO 12 - Resultado da 3ª análise microbiológica, realizada utilizando-se o protótipo 3.

RESUMO DE RESULTADO – Exame No.3 – 14/02/06 Análise Microbiológica - Protótipo 3.1		
Parâmetros	**Água Alimentação inoculada**	**Água Processada**
Coliformes totais (NPM/100mL)	$5,475x10^6$	<1
Coliformes fecais(NPM/100mL)	$3,37x10^5$	<1

QUADRO 13 – Resultado da 4ª análise microbiológica, realizada utilizando-se o protótipo 3.

RESUMO DE RESULTADO – Exame No.4 – 17/02/06 Análise Microbiológica - Protótipo 3.1		
Parâmetros	**Água Alimentação inoculada**	**Água Processada**
Coliformes totais (NPM/100mL)	$1,852x10^6$	<1
Coliformes fecais(NPM/100mL)	$1,214x10^6$	<1

QUADRO 14 - Resultado da 5ª análise microbiológica, realizada utilizando-se o protótipo 3.

RESUMO DE RESULTADO – Exame No.5 – 21/02/06 Análise Microbiológica – Protótipo 3.1		
Parâmetros	**Água Alimentação inoculada**	**Água Processada**
Coliformes totais (NPM/100mL)	$3,524x10^6$	<1
Coliformes fecais(NPM/100mL)	$23,3x10^4$	<1

QUADRO 15 – Resultado da 6ª análise microbiológica, realizada utilizando-se o protótipo 3.

RESUMO DE RESULTADO – Exame No.6 – 07/03/06 Análise Microbiológica - Protótipo 3.1		
Parâmetros	**Água Alimentação inoculada**	**Água Processada**
Coliformes totais (NPM/100mL)	$9,59x10^5$	<1
Coliformes fecais(NPM/100mL)	$1,87x10^5$	<1

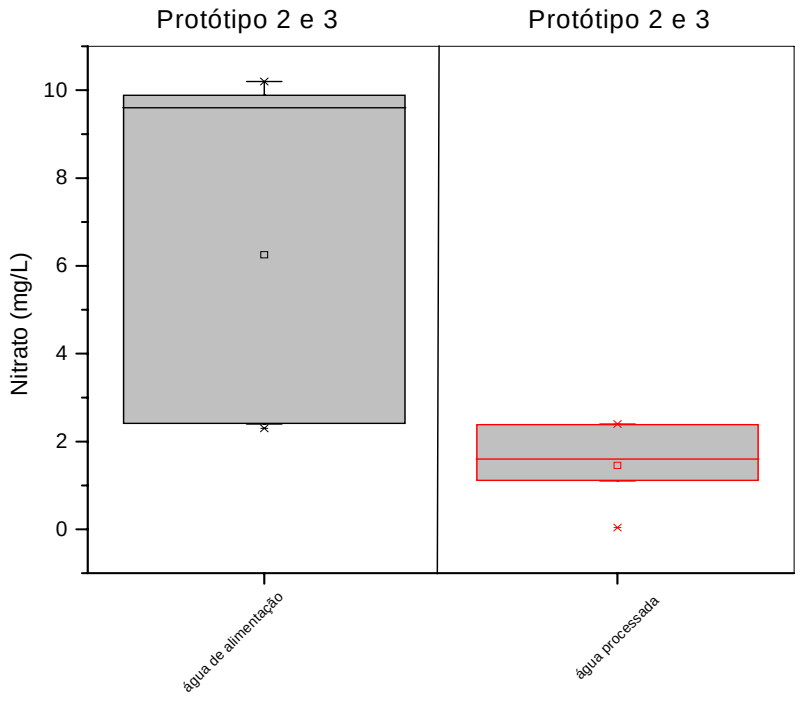
Observa-se nos quadros de 10 à 15 que, para os parâmetros bacteriológicos analisados, coliformes totais e coliformes fecais, as águas inoculadas se apresentavam com teores de contaminação variando de 10^4 a 10^6, após passarem no reator seus valores foram para <1.

Com base nos resultados obtidos para as águas estudadas, observou-se que no tratamento através da cavitação hidrodinâmica, com o uso do protótipo 3 (vazão de alimentação 60L/h), os parâmetros microbiológicos analisados ficaram de acordo com os padrões de potabilidade exigidos na portaria 518, de 25 de março de 2004 do Ministério da Saúde. Comprovando a eficiência de inativação por cavitação hidrodinâmica.

4.4. Resultados das análises estatísticas

Foram tratados estatisticamente dados relativos ao parâmetro físico-químico nitrato e dados relativos á eficiência térmica dos protótipo 1, 2 e 3. Apesar de termos analisados outros parâmetros físico-químicos, não foi possível estuda-los estatisticamente devido a ocorrência de “não detectado” em algumas leituras. Isso impossibilitou a inserção de dados no programa utilizado.

Inicialmente foram inseridos os dados físico-químicos para o nitrato, dada a importância deste parâmetro na caracterização de potabilidade da água para consumo humano. Também foram levantados o teor de nitrato na água de alimentação e na água processada, pelos protótipos 2 e 3. Devido ao baixo rendimento térmico alcançado no protótipo 1, não foi interessante incluí-lo nesta análise.



As linhas horizontais da caixa expressam os valores de 25, 50 e 75%. A barra de erro inclui os valores entre 5 e 95%; (x) os valores correspondentes a 1 a 99% e o sinal (-) os valores mínimo e máximo do conjunto de dados. A média aritmética corresponde ao □ dentro da caixa.

FIGURA 54 - Gráfico tipo caixa das concentrações de nitrato em amostras de água de alimentação e processada.

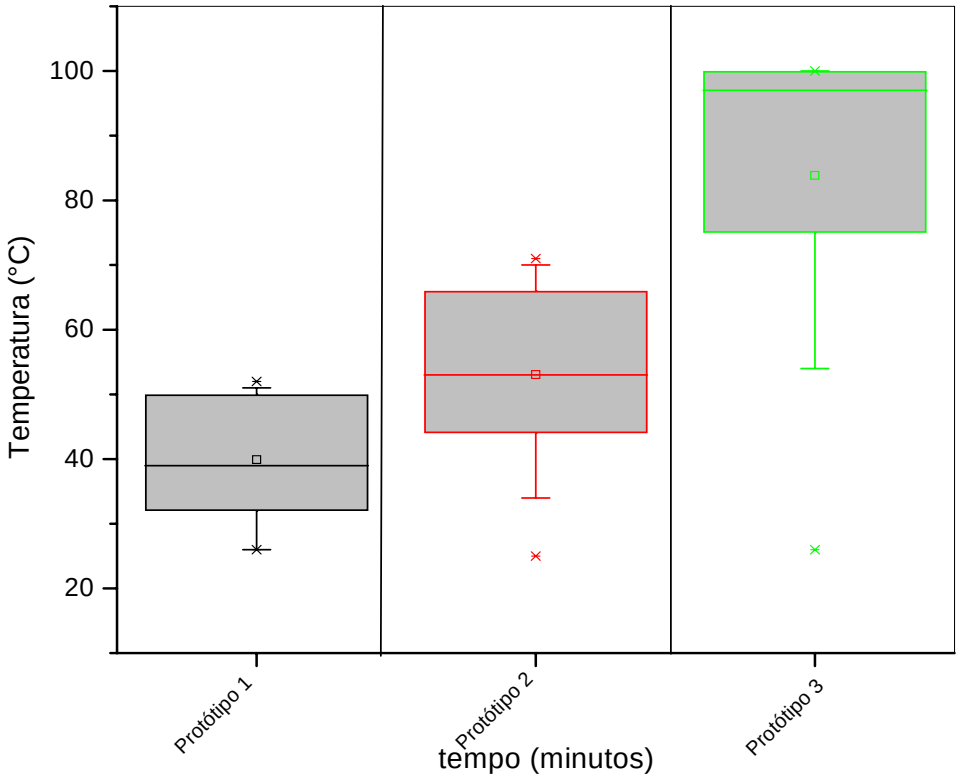
Através da figura 54 e com base no teste da One-Way ANOVA, observamos que para os valores das concentrações de nitrato, suas médias foram consideradas estatisticamente diferentes, entre as águas de alimentação e processada.

É importante destacar a grande variação de valores de concentração do nitrato para a água de alimentação, representado graficamente pelo comprimento da caixa relativa a água de alimentação.

Para valores máximos, representado pelo “x” na parte superior da caixa referente a água de alimentação, pode-se ver que foram encontrados valores acima de 10mg/L de nitrato. Valor que excede ao exigidos na portaria 518/2004 do Ministério da Saúde, conferindo uma situação de água inadequada ao consumo. Já quando se observa o lado da água processada, são mostrados resultados alcançados pelos protótipos 2 e 3, constata-se que houve uma redução considerável na concentração de nitrato, se comparada com a situação encontrada na água de alimentação, onde a média da água processada passa a ser bem menor, indicando para este parâmetro, o atendimento da portaria 518/2004 do Ministério da Saúde. Concluindo-se então que os protótipos 2 e 3 reduziram as concentrações de nitrato encontradas nesta água de alimentação.

Os experimentos realizados para os protótipos 2 foram realizados nas seguintes datas: 30 de junho de 2005, 07 de julho de 2005 e 14 de julho de 2005 e para o protótipo 3 as datas foram: 10 de fevereiro de 2006, 21 de fevereiro de 2006 e 07 de março de 2006.

Um outro estudo estatístico realizado tratou de analisar os resultados obtidos em duas bateladas de tomadas de temperatura, desta vez, para os três protótipos construídos. Foram inseridos, no programa Origin 5.0, 260 leituras de temperatura coletadas para cada um dos protótipos. Totalizando 780 leituras de temperaturas. Objetivando avaliar a eficiência térmica alcançada em cada protótipo, por meio do resultado obtido pela temperatura da água processada, em função do tempo. Conforme está apresentado na figura 55.



As linhas horizontais da caixa expressam os valores de 25, 50 e 75%. A barra de erro inclui os valores entre 5 e 95%; (x) os valores correspondentes a 1 a 99% e o sinal (-) os valores mínimo e máximo do conjunto de dados. A média aritmética corresponde ao □ dentro da caixa.

FIGURA 55 - Gráfico tipo caixa dos valores de temperatura da água processada, observados nos protótipos 1, 2 e 3 em função do tempo.

Através da figura 55 e com base no teste da One-Way ANOVA, observamos que os valores das temperaturas, as suas médias entre os protótipos 1, 2 e 3 foram consideradas estatisticamente diferentes caracterizando uma maior eficiência no protótipo 3. Através do gráfico tipo caixa observa-se que houve um aumento na faixa de temperatura atingida pelo protótipo 3. Comprovando estatisticamente a superioridade obtida pelo protótipo 3 na ebulição alcançada pela água submetida às ondas de vibração, gerando cavitação, originadas pela geometria dada ao rotor. É importante destacar também a evolução conseguida na eficiência térmica demonstrada a cada protótipo construído. Mostrando que as alterações foram executadas e surtiram o efeito desejado.

A máxima observada no protótipo 3 chega a ultrapassar os 100ºC, demonstrando que a atividade cavitante estava ocorrendo de modo intenso e certamente nesta temperatura, atingiu-se uma faixa de inativação de patógenos, que pode ser comprovada observando os valores das tabelas 10, 11, 12, 13, 14 e 15 nas páginas 116 a 117, que apresentam, especificamente, os índices de coliformes totais e coliformes fecais obtidos na água processada pelo protótipo 3.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O líquido e o vapor de água inicialmente em equilíbrio na temperatura ambiente, foram submetidos a um ciclo dinâmico de compressão e expansão. O comportamento desta mistura para esta ação foi então analisado por meio das diferentes alterações aplicadas e sua avaliação em função da eficiência térmica conseguida ao longo do tempo de funcionamento do conjunto.

A partir da revisão bibliográfica e da pesquisa de campo, com as observações experimentais e os resultados das análises realizadas, pode-se chegar às seguintes conclusões e oferecer recomendações.

- O modelo aplicado de reator de cavitação hidrodinâmica, mostrou ser capaz de inativar 100% dos microrganismos observados, coliformes fecais e coliformes totais;
- O controle da vazão de água de alimentação (água bruta) tem influência direta na eficiência de inativação do sistema;
- O sistema aqui apresentado é uma alternativa de desinfecção, caracterizada pela possibilidade de adoção em sistemas de abastecimento de água individual (unifamiliares) ou de pequeno porte (multifamiliares), devido principalmente a mobilidade da vazão de operação do sistema;
- As impurezas não se depositarão no metal, pois, o líquido sempre estará numa temperatura mais elevada que o metal, portanto não haverá “scaling”, que é a migração de impurezas de um líquido e o acúmulo no metal próximo, assim sendo, mostra-se ser praticamente impossível que haja desenvolvimento de colônias de microorganismo pela inexistência de acúmulos nos orifícios do rotor;
- O equipamento utiliza metodologia de produção simples e de baixo investimento, permitindo sua manufatura em locais distantes dos centros urbanos desenvolvidos;
- Permite a erradicação imediata e confiável de microrganismos sem a adição de químicos;

- O sistema não oferece a disposição de subprodutos após o tratamento; não produz o efeito de odor ou gosto na água, não há necessidade de manusear ou estocar produtos químicos e não é necessário a utilização de tanques de reação;
- Ausência de contaminação ao meio ambiente, por se tratar de um meio físico, são equipamentos não poluentes, não liberam gases nem cinzas de combustão;
- Por serem equipamentos compactos, ocupam pequenas áreas, e podem compor módulos, obtendo-se assim grande capacidade de geração;

Por fim, os resultados demonstraram a eficácia do tratamento de água de abastecimentos por cavitação hidrodinâmica, obtida a partir do uso de um reator, que poderá ser uma alternativa na desinfecção de água ao consumo humano, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida da população, sobretudo das comunidades rurais e carentes. Para tanto, recomenda-se:

- pesquisar, em escala de laboratório e piloto, a influência do uso da liga de alumínio na manufatura das peças componentes do reator de cavitação hidrodinâmico. Realizando-se pesquisa para uma caracterização precisa dos metais presentes na água processada, bem como para uma avaliação das conseqüências de seus usos;
- avaliar o desempenho do reator para a definição da periodicidade de lavagem interna dos componentes;
- desenvolver estudo de viabilidade técnico-econômica, comparando o sistema de desinfecção de água por cavitação hidrodinâmica, com outras tecnologias alternativas;
- pesquisar a influência do poder da cavitação hidrodinâmica na inativação de outros microrganismos patogênicos;
- pesquisar, em escala de laboratório e piloto, a influência do uso da uma água com turbidez elevada, a ser tratada no reator de cavitação hidrodinâmico.

Independente dessas investigações e considerando os diferentes cenários de escassez hídrica presentes na região do semi-árido, a aplicação desta tecnologia inovadora para desinfecção de águas é uma solução fundamentada em alta tecnologia, com larga abrangência social. A desinfecção física é economicamente viável, permitindo a utilização por todos os estrados da comunidade de uma água potável a um custo acessível sem adição de químicos e/ou geração de subprodutos. Assim, poderá atender às demandas crescentes, principalmente, nas áreas rurais e litorâneas do semi-árido, ampliando a oferta de água tratada, com vantagens tanto na qualidade físico-química e biológica, ampliando as condições de saúde pública, como no preço por metro cúbico da água distribuída à população.

6. BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002. 24 p.

_____. **NBR 6024**: numeração progressiva das seções de um documento. Rio de Janeiro, 1989. 2 p.

_____. **NBR 6027**: sumário. Rio de Janeiro, 1989. 2 p.

_____. **NBR 9425**: solução de hipoclorito de sódio: determinação do teor de cloro ativo pelo método volumétrico. Rio de Janeiro, 1986. 3 p.

_____. **NBR 10520**: informação e documentação: citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro, 2002. 7 p.

_____. **NBR 14724**: informação e documentação: trabalhos acadêmicos: apresentação. Rio de Janeiro, 2002. 6 p.

AZEVEDO NETTO, José Martiniano. A desinfecção, princípios, agentes físicos e químicos: a ação de desinfetantes, fatores envolvidos, equações. In: _____. **Desinfecção de águas**. São Paulo: Cetesb, 1974. cap. 3, p. 11-17.

ARNOLD, Ernst. **Friction Furnace**. Patente US 4381762, de 03 de maio de 1983. Disponível em: <http://v3.espacenet.com/results?sf=n&FIRST=1&F=0&CY=ep&LG=en&DB=EPODOC&PN=US4381762&Submit=SEARCH&=&=&=&=&=>. Acesso em: 25 de mar. 2006.

BOWMAN, Dwight D.; FOGARTY, Elizabeth A. **Pathogen Inactivation in Biosolids with cavitation.** Patente US 2002158010, de 31 de outubro de 2002. Disponível em: <http://v3.espacenet.com/textdes?DB=EPODOC&IDX=US2002158010&F=0&QPN=US2002158010>. Acesso em: 25 de mar. 2006.

BIASOLI, Wander Mendes. **Água e saúde:** o que você gostaria de saber e não teve a quem perguntar . Fortaleza: [s.n.], 2000. 224 p., il.

BRANCO, Samuel Murgel. As águas e os microrganismos: amebas, bactérias e vírus: presença nas águas naturais, águas poluídas e nas águas residuárias. In: AZEVEDO NETTO, José Martiniano (Coord.). **Desinfecção de águas**. São Paulo: Cetesb, 1974. cap. 1 e 2, p. 01-10.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 518, de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil,** Brasília, DF, 26 mar. 2004. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/legis/portarias>. Acesso em: 20 mar. 2004.

DANIEL, Luiz Antônio (Coord.). **Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável**. Rio de Janeiro: ABES, 2001. 155 p.

DELMÉE, Gerard J. **Manual de medição de vazão**. São Paulo, SP. Editora Edgard Blucher Ltda. 3ª edição, 2003. 346p.

DI BERNADO, Luiz. **Tratamento de água para abastecimento por filtração direta**. Rio de Janeiro : ABES, RiMa, 2003. 498 p., il. Projeto PROSAB.

DIMITRY, Shafran. **Heat generator for a circulating heating system**. Patente US4388915, de 21 de Junho de1983. Disponível em: <http://v3.espacenet.com/results?sf=n&FIRST=1&F=0&CY=ep&LG=en&DB=EPODOC&PN=US4388915&Submit=SEARCH&=&=&=&=&>. Acesso em: 25 de mar. 2006.

DRAEMEL DEAN C (US); NAHAS NICHOLAS C (US); HO TEH C. **Cavitation enhanced liquid atomization** Patente US2003102251, de 06 de maio de 2003. Disponível em: <http://v3.espacenet.com/textdes?DB=EPODOC&IDX=US2003102251&F=0&QPN=US2003102251>. Acesso em: 25 de mar. 2006.

EATON, A. D.; CLESCERI, L. S.; GREENBERG, A. E. (Ed.). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20. ed. Washington: A. P. H. A.; A. W. W.A.; W. E. F., 1999. 1 CD-ROM.

F., Kopezynski John. **Vaporizers**. Patente US3242908, de 29 de março de1966. Disponível em: <http://v3.espacenet.com/textdoc?DB=EPODOC&IDX=US3242908&F=0>. Acesso em: 25 de mar. 2006.

FRANCIS J., Fuchs. **Energy conversion apparatus** . Patente US4325354, de 20 Abril de 1982.
Disponível em: <http://v3.espacenet.com/results?sf=n&FIRST=1&F=0&CY=ep&LG=en&DB=EPODOC&PN=US4325354&Submit=SEARCH&=&=&=&=&=>. Acesso em: 25 de mar. 2006.

GOGATE, Parag R.; PANDIT Aniruddha B. A review and assessment of hydrodynamic cavitation as a technology for the future. **Ultrasonics Sonochemistry**, Matunga, v. 7, p. 201–212. 2004.

GOGATE, Parag R. et al. Cavitation Reactors: efficiency assessment using a model reaction. **AIChE Journal**, Mumbai, v. 47, no. 11, p. 2526-2538, 2001.

GONÇALVES, C. **Mecanismos de instabilidade de fluxos cavitantes.** 1997. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, DF., 1997.

GÖKÇEN, Mehmet R. **Device for converting energy**. Patente US4480592, de 06 de novembro de 1984, depositado dia 24 de março de 2006. Disponível em: <http://v3.espacenet.com/textdes?DB=EPODOC&IDX=US4480592&F=0&QPN=US4480592>. Acesso em: 30 de março de 2006.

HAO, Hongwei et al. Cavitation mechanism in cyanobacterial growth inhibition by ultrasonic irradiation, **Colloids and Surfaces B:** biointerfaces, v. 33, 2004. p. 151-156.

HUGHES, F. William; BRIGHTON, John A. **Dinâmica dos fluidos**. São Paulo, SP. McGraw-Hill do Brasil. 1974. 358p.

IBGE. **Anuário estatístico do Brasil.** Rio de Janeiro, 2000. v. 60.

JYOTI, K. K.; PANDIT, Aniruddha B. Water disinfection by acoustic and hydrodynamic cavitation. **Biochemical Engineering Journal,** Mumbai, v. 7, p. 201–212. 2001.

_____. Hybrid cavitation methods for water disinfection. **Biochemical Engineering Journal,** Mumbai, v. 14, p. 9-17, 2003.

_____. Ozone and cavitation for water disinfection. **Biochemical Engineering Journal**, Mumbai, v. 18, p. 9-19, 2004.

_____. Effect of cavitation on chemical disinfection efficiency. **Water Research,** Mumbai, v. 38, p. 2249–2258, 2004.

MACÊDO, Jorge Antônio Barros de. **Águas & águas**. 2. ed. rev. e atual. Belo Horizonte: CRQ-MG, 2004.

MARK L., Leclair. **Method and Apparatus for the controlled formation of cavitation bubbles**. Patente US 2003139041, de 24 de julho de 2003. Disponível em: <http://v3.espacenet.com/textdes?DB=EPODOC&IDX=US2003139041&F=0&QPN=US2003139041>. Acesso em: 25 de mar. 2006.

MICHAEL, Eskeli. **Compressing centrifuge**. Patente US3933007, de 20 de janeiro de 1976. Disponível em: <http://v3.espacenet.com/results?sf=n&FIRST=1&F=0&CY=ep&LG=en&DB=EPODOC&PN=US3933007&Submit=SEARCH&=&=&=&=&=>. Acesso em: 25 de mar. 2006.

_____. **Gas compressor-expander**. Patente US3937034, de 10 de fevereiro de 1976.
Disponível em: <http://v3.espacenet.com/textdoc?DB=EPODOC&IDX=US3937034&F=0>. Acesso em: 25 de mar. 2006.

MONTEIRO, Patricia Campos Gomes. **Viabilidade do uso da radiação solar na desinfecção da água.** 1999. 128f. Dissertação (mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos). Departamento de Engenharia Civil. Universidade de Brasília – UnB, Brasília - DF, 1999.

MOTA, Suetônio. **Introdução à engenharia ambiental.** Rio de Janeiro: ABES, 1997. 292 p.

OLIVEIRA, W. E. Importância do abastecimento de água na transmissão de doenças. In: AZEVEDO NETTO et al. **Técnicas de abastecimento e tratamento de água.** v. 1. São Paulo: CETESB, 1987. 550 p. v.1. cap. 1, p. 1-28.

PERKINS, Eugene W. **Liquid friction heating apparatus**. Patente US4779575, de 25 de outubro de 1988. Disponível em: <http://v3.espacenet.com/results?sf=n&FIRST=1&F=0&CY=ep&LG=en&DB=EPODOC&PN=US4779575&Submit=SEARCH&=&=&=&=&=>. Acesso em: 24 de mar. 2006.

PELCZAR Jr. et al. **Microbiologia:** conceitos e aplicações. 2. ed. Tradução Sueli Fumie, Tânia Ueda Nakamura, Benedito Prado Dias Filho; revisão técnica Celsu Vataru Nakamura. São Paulo: MAKRON Books, 1996. v. 1, 524 p.

PERA, Hildo. **Geradores de vapor** : um compêndio sobre a conversão de energia com vistas à preservação da ecologia. São Paulo: Fama, 1990.

RACHID, Felipe B. Freitas. A thermodynamically consistent model for cavitating flows of compressible fluids, **International Journal of Non-Linear Mechanics,** v. 38, p. 1007-1018, 2003.

REID, Raymond. Situación de la desinfección de agua en América Latina y El Caribe. In: **Simposio regional sobre calidad del agua:** desinfección efectiva. Lima, CEPISOPS, 1998, p.1-14. Disponível em: <http://www.cepis.org.pe/bvsacg/e/fulltext/simposio/ponen1.pdf>. Acesso em: 14 maio 2006.

VARGAS, Ricardo Rojas. Estudio de desinfección en el nivel domiciliário. In: **Simposio regional sobre calidad del agua**: desinfección efectiva. Lima: CEPIS, 1998, p. 1-20. Disponível em: <http://www.cepis.org.pe/bvsacg/e/fulltext/simposio/ponen16.pdf>. Acesso em 10 maio 2006.

RODIER, J. **Análisis de las aguas**: aguas naturales, aguas residuales, agua de mar. Barcelona: Omega, 1990. 1059 p.

ROUQUAYROL, Maria Zélia. **Epidemiologia & saúde**. 4. ed. Rio de Janeiro: MEDSI, 1993. 540 p.

SANTOS, Almany Costa. Noções de hidroquímica. In: FEITOSA, Fernando Antônio Carneiro; MANOEL FILHO, João (Coord.). **Hidrologia**: conceitos e aplicações. 2. ed. Fortaleza: CPRM/REFO, LABHID-UFPE, 2000. cap. 5, p. 81 -108.

SCHAEFER, Carl D. **Steam Generator**. Patente US3791349, de 29 de julho de 1973. Disponível em: <http://v3.espacenet.com/textdoc?DB=EPODOC&IDX=US3791349&F=0>. Acesso em 24 mar. 2006.

SIVAKUMAR, Manickam; PANDIT, Aniruddha B. Wastewater treatment: a novel energy efficient hydrodynamic cavitational technique. **Ultrasonics Sonochemistry**, Mumbai, v. 9, p 123-131, 2002.

SNATURAL – Tecnologias Ambientais Ltda. Disponível em: <http://www.snatural.com.br/UV.htm>. Acesso em 09 maio 2005.

SUASSUNA, João. **Contribuição ao estudo hidrogeológico do semi-árido nordestino**. Recife: Fundaj, 1999. Disponível em: <http://www.cepis.ops-oms.ogr>. Acesso em: 08 maio 2004.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto**. 2. ed. revisada. Belo Horizonte: Depto. de Engenharia Sanitária e Ambiental; UFMG; 1996. 234 p.

WILFRED J., Grenier. **Fluid friction heater** , Patente US4277020, de 07 de Julho de 1981. Disponível em: <http://v3.espacenet.com/results?sf=n&FIRST=1&F=0&CY=ep&LG=en&DB=EPODOC&PN=US4277020&Submit=SEARCH&=&=&=&=&=>. Acesso em: 25 de mar. 2006.

WRIGHT, H. B.; CAIRNS, W. L. Desinfección de agua por medio de luz ultravioleta. In: **Simposio regional sobre calidad del agua:** desinfección efectiva. Lima: CEPIS-OPS, 1998, p.1-28. Disponível em: <http://www.cepis.org.pe/bvsacg/e/fulltext/simposio/ponen10.pdf>. Acesso em 20 maio 2006.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Tomadas de temperatura verificadas a cada 3 minutos de funcionamento, em cada protótipos construído e nas diferentes situações em que trabalharam

PROTÓTIPO 1 - BATELADA No.1

Material = Aço carbono 1020

Selo = Viton

Vazão de Alimentação = 10L/Hr

Ponto de Alimentação = Tampa lateral

Potência Motriz = 20Cv

Tomada01	14/12/2004	
tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	26	25
3	26	28
9	28	34
12	32	39
15	36	41
18	37	44
21	39	46
24	43	51
27	48	53
30	50	53
33	51	52
36	51	54
39	52	53

PROTÓTIPO 2 - BATELADA No.1

Material=Aço carbono 1020-Cromado

Selo = Etileno-Propileno

Vazão de Alimentação = 15 L/Hr

Ponto de Alimentação=Mancal lateral

Potência Motriz = 20Cv

Tomada01	16/5/2005	
tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	25	26
3	34	35
9	40	42
12	44	44
15	47	49
18	49	51
21	53	55
24	57	59
27	64	66
30	66	70
33	70	71
36	70	72
39	71	71

PROTÓTIPO 3 - BATELADA No.1

Material = Alumínio

Selo = Tungstênio

Vazão de Alimentação = 40L/Hr

Ponto de Alimentação=Mancal lateral

Potência Motriz = 30Cv

Tomada01	2/8/2005	
tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	26	26
3	54	58
9	63	64
12	75	77
15	85	82
18	92	94
21	97	98
24	100	101
27	100	100
30	99	101
33	100	100
36	99	101
39	100	100

Tomada 02	14/12/2004	
tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	25	25
3	26	26
9	28	28
12	32	39
15	32	41
18	37	44
21	39	46
24	41	50
27	44	52
30	49	54
33	52	53
36	51	55
39	52	54

Tomada 02	16/5/2005	
tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	25	26
3	33	39
9	39	42
12	44	46
15	49	52
18	55	58
21	58	62
24	60	66
27	64	68
30	69	71
33	72	74
36	70	72
39	71	74

Tomada 02	2/8/2005	
tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	26	25
3	55	55
9	64	66
12	74	75
15	80	82
18	89	90
21	95	96
24	99	100
27	100	100
30	100	100
33	101	99
36	101	100
39	102	101

PROTÓTIPO 1 - BATELADA No.1

Tomada03	14/12/2004	
tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	25	24
3	25	26
9	28	28
12	33	37
15	38	41
18	40	44
21	42	46
24	43	49
27	46	53
30	48	55
33	51	54
36	51	55
39	50	54

PROTÓTIPO 2 - BATELADA No.1

Tomada 03	16/5/2005	
tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	26	27
3	34	36
9	39	40
12	46	48
15	51	55
18	55	59
21	59	65
24	64	69
27	68	72
30	70	71
33	71	72
36	68	74
39	70	71

PROTÓTIPO 3 - BATELADA No.1

Tomada 03	2/8/2005	
tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	25	26
3	56	57
9	60	64
12	71	72
15	77	79
18	86	88
21	92	94
24	100	101
27	98	101
30	99	101
33	100	100
36	100	100
39	99	101

Tomada 04	15/12/2004		**Tomada 04**	17/5/2005		**Tomada 04**	3/8/2005	
tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext	tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext	tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	26	25	0	27	25	0	26	26
3	25	28	3	38	41	3	52	55
9	27	35	9	44	46	9	59	65
12	30	37	12	49	50	12	68	69
15	32	40	15	56	55	15	74	77
18	34	44	18	60	58	18	84	86
21	39	47	21	64	64	21	90	92
24	43	49	24	71	70	24	98	99
27	46	53	27	70	74	27	99	100
30	49	53	30	69	72	30	98	99
33	51	52	33	72	74	33	99	99
36	51	55	36	71	75	36	101	100
39	51	55	39	70	73	39	100	101

Tomada 05	15/12/2004		**Tomada 05**	17/5/2005		**Tomada 05**	3/8/2005	
tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext	Tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext	tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	24	25	0	24	26	0	25	27
3	24	27	3	36	39	3	54	55
9	26	35	9	42	45	9	59	60
12	30	38	12	50	52	12	66	68
15	32	41	15	56	58	15	72	74
18	35	45	18	62	66	18	70	72
21	39	47	21	68	70	21	88	90
24	41	49	24	72	72	24	96	97
27	44	51	27	72	74	27	99	101
30	46	53	30	71	72	30	100	100
33	50	54	33	70	72	33	98	99
36	52	52	36	71	73	36	99	99
39	52	54	39	72	73	39	100	101

PROTÓTIPO 1 - BATELADA No.1 **PROTÓTIPO 2 - BATELADA No.1** **PROTÓTIPO 3 - BATELADA No.1**

Tomada 06	15/12/2004		**Tomada 06**	17/5/2005		**Tomada 06**	3/8/2005	
tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext	tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext	tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	26	26	0	26	26	0	26	25
3	25	26	3	38	40	3	54	58
9	27	33	9	45	47	9	63	64
12	30	37	12	53	54	12	72	75
15	33	41	15	60	63	15	83	85
18	32	45	18	65	68	18	90	92
21	39	47	21	70	72	21	97	98
24	43	51	24	72	73	24	100	101
27	47	53	27	72	74	27	100	99
30	51	52	30	74	75	30	100	101
33	53	54	33	75	74	33	100	100
36	53	54	36	72	74	36	99	101
39	53	55	39	74	75	39	100	101

Tomada 07	16/12/2004		**Tomada 07**	18/5/2005		**Tomada 07**	4/8/2005	
tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext	tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext	tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	25	25	0	24	24	0	25	24
3	25	25	3	34	36	3	55	54
9	26	27	9	38	43	9	65	66
12	33	29	12	46	50	12	71	74
15	38	36	15	52	56	15	80	82
18	37	39	18	58	62	18	88	89
21	39	42	21	64	69	21	94	98
24	43	48	24	69	70	24	99	100
27	48	53	27	71	73	27	100	101
30	51	53	30	70	74	30	100	101
33	51	52	33	74	75	33	99	99
36	50	54	36	71	75	36	99	100
39	50	53	39	73	74	39	101	100

Tomada 08	16/12/2004		**Tomada 08**	18/5/2005		**Tomada 08**	4/8/2005	
tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext	tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext	tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	24	26	0	26	26	0	25	25
3	25	27	3	33	35	3	54	56
9	26	35	9	40	41	9	59	65
12	32	39	12	47	49	12	69	69
15	35	43	15	55	58	15	74	77
18	39	44	18	64	66	18	84	86
21	41	46	21	69	70	21	92	93
24	44	50	24	72	73	24	100	99
27	48	53	27	71	74	27	100	100
30	52	52	30	73	72	30	100	99
33	51	54	33	74	72	33	99	100
36	51	55	36	71	73	36	101	100
39	52	55	39	70	74	39	100	100

PROTÓTIPO 1 - BATELADA No.1			**PROTÓTIPO 2 - BATELADA No.1**			**PROTÓTIPO 3 - BATELADA No.1**		
Tomada 09	16/12/2004		**Tomada 09**	18/5/2005		**Tomada 09**	4/8/2005	
tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext	tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext	tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	25	25	0	24	26	0	25	25
3	26	25	3	34	38	3	52	51
9	28	28	9	40	44	9	58	56
12	32	36	12	48	50	12	76	76
15	37	39	15	55	58	15	67	66
18	38	44	18	61	66	18	72	70
21	39	46	21	67	70	21	80	79
24	43	50	24	74	73	24	88	86
27	46	53	27	70	74	27	96	96
30	50	52	30	72	72	30	100	100
33	48	52	33	71	71	33	100	98
36	50	54	36	74	75	36	99	99
39	50	53	39	73	74	39	100	100

Tomada 10	17/12/2004		**Tomada 10**	19/5/2005		**Tomada 10**	5/8/2005	
tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext	tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext	tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	25	26	0	26	24	0	24	26
3	27	26	3	32	33	3	54	52
9	27	28	9	44	46	9	58	58
12	29	35	12	52	54	12	69	68
15	34	38	15	59	60	15	75	72
18	37	44	18	66	68	18	83	81
21	41	47	21	71	71	21	91	89
24	43	51	24	74	73	24	98	96
27	47	53	27	73	74	27	100	99
30	50	53	30	73	75	30	99	101
33	51	52	33	74	74	33	100	101
36	51	54	36	73	74	36	100	99
39	52	53	39	71	72	39	101	100

PROTÓTIPO 1 - BATELADA No.2

Material = Aço carbono 1020

Selo = Viton

Profundidade dos orifícios = 43,50mm

Vazão de Alimentação = 10L/Hr

Ponto de Alimentação=mancais laterais

Potência Motriz = 20Cv

Tomada01	20/12/2004	
tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	25	25
3	26	28
9	29	36
12	32	41
15	38	42
18	40	44
21	44	46
24	46	51
27	48	53
30	52	55
33	55	58
36	55	57
39	55	58

Tomada 02	20/12/2004	
tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	26	26
3	27	29
9	32	34
12	35	37
15	37	40
18	41	44
21	44	48
24	48	53
27	54	56
30	57	58
33	57	58
36	56	57
39	57	58

PROTÓTIPO 1 - BATELADA No.2

Tomada 03	20/12/2004	
tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	25	26
3	25	27
9	28	30
12	33	33
15	36	36
18	39	38
21	40	41
24	43	43
27	46	47
30	52	52
33	55	57
36	55	57
39	56	58

PROTÓTIPO 2 - BATELADA No.2

Material = Aço carbono 1020 - Cromado

Selo = Etileno-Propileno

Profundidade dos orifícios = 75mm

Vazão de Alimentação = 20 L/Hr

Ponto de Alimentação = Mancais laterais

Potência Motriz = 20Cv

Tomada01	13/6/2005	
Tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	24	25
3	39	41
9	44	45
12	48	49
15	51	48
18	55	53
21	58	62
24	62	67
27	67	74
30	70	77
33	77	79
36	76	78
39	77	78

Tomada 02	13/6/2005	
tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	26	25
3	40	39
9	44	46
12	49	49
15	50	56
18	56	61
21	60	66
24	66	69
27	72	78
30	74	77
33	78	78
36	78	79
39	77	79

PROTÓTIPO 2 - BATELADA No.2

Tomada 03	13/6/2005	
tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	26	26
3	38	40
9	45	48
12	51	52
15	57	59
18	62	63
21	64	66
24	70	73
27	75	76
30	78	77
33	77	78
36	78	78
39	77	79

PROTÓTIPO 3 - BATELADA No.2

Material = Alumínio

Selo = Tungstênio

Profundidade dos orifícios = 73/145mm

Vazão de Alimentação = 60L/Hr

Ponto de Alimentação = Mancais laterais

Potência Motriz = 30Cv

Tomada01	15/8/2005	
tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	25	26
3	60	61
9	68	68
12	80	82
15	89	90
18	100	101
21	99	100
24	101	102
27	105	102
30	104	100
33	103	104
36	102	104
39	104	105

Tomada 02	15/8/2005	
tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	24	26
3	62	63
9	69	68
12	81	82
15	91	94
18	99	101
21	101	100
24	102	100
27	102	102
30	103	102
33	102	105
36	100	105
39	104	104

PROTÓTIPO 3 - BATELADA No.2

Tomada 03	15/8/2005	
tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	26	26
3	61	60
9	67	68
12	79	82
15	89	94
18	101	101
21	100	100
24	102	102
27	100	105
30	103	105
33	104	103
36	103	104
39	103	104

Tomada 04	21/12/2004		**Tomada 04**	14/6/2005		**Tomada 04**	16/8/2005	
tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext	tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext	tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	26	25	0	26	25	0	26	25
3	26	27	3	38	39	3	62	62
9	29	35	9	46	48	9	67	68
12	33	37	12	52	55	12	75	76
15	35	40	15	57	59	15	88	96
18	37	44	18	64	66	18	95	99
21	40	47	21	70	71	21	102	102
24	44	49	24	74	75	24	101	99
27	46	53	27	78	79	27	103	102
30	52	55	30	77	78	30	103	105
33	55	57	33	78	78	33	103	104
36	56	56	36	77	79	36	104	105
39	55	57	39	77	78	39	102	104

Tomada 05	21/12/2004		**Tomada 05**	14/6/2005		**Tomada 05**	16/8/2005	
tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext	tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext	tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	26	26	0	26	26	0	27	26
3	26	27	3	39	38	3	60	61
9	28	33	9	44	48	9	62	66
12	33	36	12	51	57	12	76	79
15	35	41	15	56	61	15	88	89
18	37	45	18	61	67	18	94	98
21	40	47	21	68	69	21	100	102
24	44	49	24	72	75	24	101	103
27	46	54	27	77	78	27	100	104
30	50	55	30	78	77	30	104	104
33	53	57	33	77	78	33	103	100
36	55	57	36	79	78	36	102	101
39	55	58	39	78	79	39	103	102

PROTÓTIPO 1 - BATELADA No.2			**PROTÓTIPO 2 - BATELADA No.2**			**PROTÓTIPO 3 - BATELADA No.2**		
Tomada 06	21/12/2004		**Tomada 06**	14/6/2005		**Tomada 06**	16/8/2005	
tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext	tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext	tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	26	26	0	25	25	0	27	25
3	27	28	3	40	41	3	59	60
9	29	30	9	48	50	9	64	72
12	33	34	12	56	58	12	76	80
15	35	38	15	62	64	15	85	89
18	39	45	18	69	72	18	94	98
21	43	47	21	74	75	21	101	104
24	46	51	24	78	78	24	101	103
27	49	53	27	79	79	27	100	103
30	53	55	30	77	78	30	102	104
33	55	58	33	78	77	33	102	103
36	56	57	36	77	79	36	102	102
39	56	58	39	78	79	39	103	104

Tomada 07	22/12/2004		**Tomada 07**	15/6/2005		**Tomada 07**	17/8/2005	
Tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext	tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext	tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	26	26	0	24	24	0	26	25
3	27	28	3	38	36	3	61	62
9	30	32	9	46	48	9	62	64
12	35	37	12	53	55	12	72	70
15	39	40	15	59	61	15	79	79
18	42	42	18	60	64	18	84	82
21	44	44	21	67	69	21	96	100
24	47	49	24	73	72	24	101	101
27	51	53	27	77	78	27	103	100
30	54	55	30	78	78	30	102	104
33	56	55	33	77	79	33	101	104
36	57	58	36	77	78	36	102	103
39	56	57	39	78	79	39	103	104

Tomada 08	22/12/2004		**Tomada 08**	15/6/2005		**Tomada 08**	17/8/2005	
tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext	tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext	tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	24	25	0	26	26	0	25	25
3	26	27	3	37	38	3	59	62
9	29	35	9	45	47	9	65	68
12	35	41	12	53	55	12	74	77
15	39	44	15	60	66	15	88	95
18	44	46	18	67	70	18	98	100
21	48	50	21	70	74	21	100	103
24	52	54	24	76	77	24	100	101
27	54	58	27	79	79	27	100	100
30	55	57	30	78	80	30	101	104
33	56	58	33	79	79	33	101	104
36	55	58	36	78	79	36	102	103
39	56	57	39	78	80	39	101	103

PROTÓTIPO 1 - BATELADA No.2			**PROTÓTIPO 2 - BATELADA No.2**			**PROTÓTIPO 3 - BATELADA No.2**		
Tomada 09	22/12/2004		**Tomada 09**	15/6/2005		**Tomada 09**	17/8/2005	
tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext	tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext	tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	26	25	0	26	26	0	25	24
3	28	28	3	39	40	3	61	62
9	31	33	9	45	48	9	72	69
12	36	38	12	49	52	12	76	76
15	39	45	15	50	59	15	88	89
18	45	49	18	56	63	18	94	98
21	49	53	21	62	66	21	99	101
24	52	56	24	66	73	24	101	102
27	53	58	27	72	76	27	100	101
30	54	58	30	74	77	30	103	102
33	56	57	33	78	78	33	102	102
36	55	57	36	78	78	36	101	102
39	55	58	39	77	79	39	102	103

Tomada 10	23/12/2004		**Tomada 10**	16/6/2005		**Tomada 10**	18/8/2005	
Tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext	tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext	tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	26	26	0	26	25	0	25	26
3	28	29	3	37	41	3	60	61
9	31	33	9	45	50	9	62	66
12	34	36	12	53	58	12	70	74
15	37	40	15	60	64	15	79	85
18	40	44	18	67	72	18	88	92
21	44	48	21	70	75	21	100	102
24	48	55	24	76	78	24	100	102
27	51	57	27	79	79	27	102	102
30	55	58	30	78	78	30	100	103
33	56	57	33	79	77	33	103	102
36	55	57	36	78	79	36	103	101
39	55	58	39	78	79	39	103	102

PROTÓTIPO 1 - BATELADA No.3

Material = Aço carbono 1020

Selo = Viton

Vazão de Alimentação = 15L/Hr

Ponto de Alimentação =Manca lateral

Potência Motriz = 20Cv

Tomada01	6/1/2005	
Tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	26	25
3	29	30
9	34	36
12	38	42
15	44	46
18	48	49
21	52	54
24	56	58
27	59	62
30	59	64
33	60	64
36	59	65
39	59	64

PROTÓTIPO 2 - BATELADA No.3

Material = Aço carbono 1020-Cromado

Selo = Etileno-Propileno

Vazão de Alimentação = 25 L/Hr

Ponto de Alimentação=Mancal lateral

Potência Motriz = 20Cv

Tomada01	20/6/2005	
Tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	25	26
3	27	28
9	32	33
12	36	35
15	41	41
18	46	47
21	49	49
24	53	54
27	58	59
30	64	65
33	65	66
36	65	65
39	66	66

PROTÓTIPO 3 - BATELADA No.3

Material = Alumínio

Selo = Tungstênio

Vazão de Alimentação = 80L/Hr

Ponto de Alimentação=Mancal lateral

Potência Motriz = 30Cv

Tomada01	22/8/2005	
tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	27	26
3	54	55
9	66	68
12	78	81
15	88	90
18	97	101
21	99	100
24	100	102
27	102	102
30	101	102
33	99	101
36	100	100
39	102	102

Tomada 02	6/1/2005	
tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	25	26
3	29	29
9	35	36
12	39	42
15	45	48
18	50	54
21	53	56
24	57	58
27	59	60
30	60	61
33	60	61
36	61	61
39	60	61

Tomada 02	20/6/2005	
tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	26	27
3	26	28
9	31	33
12	35	37
15	38	39
18	43	45
21	47	48
24	51	56
27	57	60
30	62	64
33	64	66
36	64	67
39	65	67

Tomada 02	22/8/2005	
tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	25	24
3	55	57
9	68	66
12	76	78
15	85	89
18	92	97
21	100	102
24	102	100
27	101	102
30	100	102
33	101	101
36	102	101
39	100	99

PROTÓTIPO 1 - BATELADA No.3

Tomada 03	6/1/2005	
tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	24	24
3	28	30
9	34	34
12	38	38
15	42	44
18	46	49
21	49	56
24	52	58
27	55	60
30	58	62
33	59	61
36	58	62
39	59	61

PROTÓTIPO 2 - BATELADA No.3

Tomada 03	20/6/2005	
tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	26	27
3	26	29
9	31	33
12	35	36
15	37	41
18	43	47
21	47	49
24	51	55
27	58	60
30	63	65
33	64	66
36	63	65
39	64	66

PROTÓTIPO 3 - BATELADA No.3

Tomada 03	22/8/2005	
tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	26	26
3	56	57
9	68	72
12	72	79
15	84	86
18	95	92
21	100	101
24	99	104
27	102	101
30	101	99
33	100	100
36	102	102
39	101	102

Tomada 04	7/1/2005		**Tomada 04**	21/6/2005		**Tomada 04**	23/8/2005	
tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext	tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext	tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	26	25	0	25	25	0	24	24
3	29	31	3	26	27	3	57	57
9	33	38	9	32	34	9	66	68
12	39	42	12	36	36	12	74	76
15	44	46	15	39	40	15	85	88
18	49	51	18	45	46	18	94	99
21	52	56	21	48	50	21	100	102
24	55	59	24	52	55	24	100	99
27	58	60	27	57	59	27	99	100
30	60	62	30	64	64	30	102	101
33	61	61	33	65	66	33	102	100
36	60	62	36	63	64	36	101	103
39	61	62	39	64	66	39	102	102

Tomada 05	7/1/2005		**Tomada 05**	21/6/2005		**Tomada 05**	23/8/2005	
tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext	tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext	tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	25	25	0	26	27	0	27	26
3	29	31	3	27	29	3	54	58
9	33	38	9	32	34	9	62	66
12	29	42	12	35	37	12	76	79
15	45	48	15	38	39	15	88	89
18	49	54	18	43	44	18	94	96
21	52	59	21	47	47	21	99	101
24	56	60	24	51	56	24	101	101
27	59	62	27	58	61	27	101	102
30	59	61	30	62	65	30	102	100
33	58	62	33	64	66	33	100	103
36	60	61	36	63	65	36	100	104
39	59	62	39	64	66	39	102	103

PROTÓTIPO 1 - BATELADA No.3 **PROTÓTIPO 2 - BATELADA No.3** **PROTÓTIPO 3 - BATELADA No.3**

Tomada 06	7/1/2005		**Tomada 06**	21/6/2005		**Tomada 06**	23/8/2005	
tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext	tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext	tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	25	26	0	25	26	0	27	25
3	28	29	3	27	28	3	58	58
9	35	36	9	31	34	9	64	72
12	40	42	12	35	37	12	76	80
15	46	49	15	37	42	15	85	89
18	51	54	18	43	49	18	94	98
21	58	59	21	47	51	21	100	102
24	57	62	24	50	54	24	100	101
27	60	62	27	58	59	27	99	99
30	60	60	30	62	64	30	99	100
33	58	61	33	63	65	33	101	101
36	59	62	36	62	64	36	101	100
39	60	62	39	62	64	39	102	102

Tomada 07	7/1/2005		**Tomada 07**	22/6/2005		**Tomada 07**	24/8/2005	
Tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext	tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext	tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	25	24	0	26	26	0	26	24
3	29	30	3	27	28	3	55	58
9	33	35	9	31	33	9	59	64
12	39	42	12	35	36	12	67	70
15	44	49	15	37	41	15	77	79
18	49	56	18	43	47	18	79	82
21	54	59	21	47	48	21	89	91
24	59	62	24	52	54	24	99	100
27	60	61	27	58	59	27	98	101
30	59	62	30	64	65	30	100	101
33	60	62	33	62	65	33	100	100
36	60	61	36	63	65	36	101	100
39	59	62	39	64	64	39	102	100

Tomada 08	7/1/2005		**Tomada 08**	22/6/2005		**Tomada 08**	24/8/2005	
Tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext	tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext	tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	26	26	0	25	28	0	25	25
3	31	33	3	27	30	3	57	60
9	38	39	9	31	34	9	65	68
12	42	45	12	36	37	12	74	77
15	49	54	15	37	42	15	88	89
18	52	59	18	43	49	18	94	99
21	58	61	21	46	51	21	100	101
24	60	62	24	52	54	24	100	101
27	59	61	27	58	59	27	101	99
30	60	61	30	62	64	30	99	99
33	59	60	33	63	65	33	100	100
36	60	61	36	62	64	36	102	99
39	59	62	39	63	64	39	102	100

PROTÓTIPO 1 - BATELADA No.3			**PROTÓTIPO 2 - BATELADA No.3**			**PROTÓTIPO 3 - BATELADA No.3**		
Tomada 09	7/1/2005		**Tomada 09**	22/6/2005		**Tomada 09**	24/8/2005	
Tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext	tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext	tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	25	25	0	26	27	0	25	24
3	30	32	3	28	28	3	55	58
9	35	37	9	32	34	9	67	68
12	40	42	12	35	37	12	74	75
15	47	48	15	37	42	15	82	88
18	52	54	18	45	49	18	90	96
21	58	60	21	49	51	21	99	100
24	60	61	24	51	58	24	100	102
27	61	59	27	58	62	27	100	101
30	60	60	30	62	65	30	101	99
33	59	61	33	63	65	33	102	100
36	58	62	36	62	66	36	101	101
39	60	62	39	62	65	39	102	100

Tomada 10	8/1/2005		**Tomada 10**	23/6/2005		**Tomada 10**	25/8/2005	
Tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext	tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext	tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	26	26	0	25	25	0	25	26
3	31	34	3	26	27	3	54	58
9	38	39	9	32	34	9	62	66
12	42	46	12	34	36	12	70	74
15	48	51	15	38	42	15	79	85
18	54	58	18	42	48	18	87	94
21	59	62	21	48	52	21	95	100
24	61	61	24	51	56	24	99	100
27	60	62	27	59	61	27	99	99
30	60	61	30	64	64	30	100	99
33	61	60	33	63	63	33	102	100
36	62	62	36	64	65	36	101	101
39	61	62	39	64	64	39	102	102

PROTÓTIPO 1 - BATELADA No.4
Material = Aço carbono 1020
Selo =Viton
Profundidade dos orifícios = 43,5 mm
Vazão de Alimentação = 20 L/Hr
Ponto de Alimentação = Mancal lateral
Potência Motriz = 20Cv

Tomada01 10/1/2005

tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	26	25
3	26	27
9	28	33
12	31	36
15	36	38
18	40	42
21	44	45
24	46	47
27	49	49
30	50	50
33	49	51
36	48	51
39	49	50

Tomada 02 10/1/2005

tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	25	25
3	26	27
9	28	31
12	27	34
15	30	36
18	35	38
21	39	41
24	42	42
27	45	46
30	49	51
33	48	50
36	48	51
39	48	50

PROTÓTIPO 1 - BATELADA No.4

Tomada 03 10/1/2005

tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	26	25
3	26	27
9	27	29
12	31	32
15	35	36
18	39	40
21	42	43
24	44	45
27	45	46
30	46	47
33	46	48
36	48	47
39	47	48

PROTÓTIPO 3 - BATELADA No.4
Material = Alumínio
Selo = Tungstênio
Profundidade dos orifícios = 73/145mm
Vazão de Alimentação = 100L/Hr
Ponto de Alimentação = Mancal lateral
Potência Motriz = 30Cv

Tomada01 5/9/2005

tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	26	26
3	50	48
9	61	66
12	72	74
15	81	84
18	89	92
21	94	96
24	98	100
27	100	98
30	98	98
33	99	98
36	99	99
39	98	100

Tomada 02 5/9/2005

tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	25	27
3	48	50
9	58	62
12	68	70
15	79	82
18	88	89
21	92	93
24	97	98
27	99	100
30	100	101
33	98	101
36	99	100
39	98	99

PROTÓTIPO 3 - BATELADA No.4

Tomada 03 5/9/2005

tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	25	27
3	48	50
9	58	62
12	68	70
15	79	82
18	88	89
21	92	93
24	95	98
27	96	100
30	97	100
33	97	99
36	98	98
39	97	98

Tomada 04 11/1/2005

tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	25	25
3	25	27
9	26	29
12	29	31
15	33	35
18	36	38
21	39	42
24	44	46
27	48	48
30	49	47
33	48	48
36	47	49
39	48	49

Tomada 05 11/1/2005

tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	26	26
3	26	27
9	27	29
12	29	33
15	33	36
18	35	38
21	38	41
24	42	45
27	45	46
30	47	48
33	48	48
36	48	49
39	48	49

PROTÓTIPO 1 - BATELADA No.4
Tomada 06 11/1/2005

tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	25	26
3	26	27
9	28	29
12	30	32
15	32	34
18	36	38
21	39	41
24	42	46
27	46	48
30	47	48
33	48	48
36	48	49
39	47	48

Tomada 04 6/9/2005

tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	25	25
3	47	48
9	58	62
12	68	70
15	79	82
18	88	89
21	92	93
24	94	95
27	95	97
30	97	98
33	98	98
36	99	98
39	97	99

Tomada 05 6/9/2005

tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	26	25
3	55	57
9	60	66
12	70	75
15	76	80
18	81	84
21	86	90
24	88	94
27	92	96
30	97	98
33	97	98
36	98	97
39	98	99

PROTÓTIPO 3 - BATELADA No.4
Tomada 06 6/9/2005

tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	26	25
3	48	50
9	58	62
12	68	70
15	79	82
18	86	88
21	92	90
24	94	95
27	97	98
30	98	97
33	97	97
36	99	98
39	99	100

Tomada 07 12/1/2005

tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	27	26
3	29	26
9	33	34
12	35	38
15	39	40
18	42	43
21	44	46
24	45	49
27	46	48
30	46	48
33	47	48
36	47	49
39	48	48

Tomada 08 12/1/2005

tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	25	26
3	26	27
9	28	28
12	29	31
15	33	35
18	36	37
21	40	42
24	44	46
27	48	48
30	48	48
33	47	48
36	47	49
39	49	47

PROTÓTIPO 1 - BATELADA No.4
Tomada 09 12/1/2005

tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	26	25
3	27	26
9	28	29
12	30	31
15	32	34
18	35	38
21	38	40
24	40	44
27	44	46
30	47	48
33	48	48
36	47	49
39	47	48

Tomada 07 7/9/2005

tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	25	24
3	56	58
9	60	64
12	66	70
15	77	79
18	79	82
21	89	91
24	99	92
27	95	97
30	97	99
33	97	98
36	98	98
39	97	98

Tomada 08 7/9/2005

tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	25	27
3	48	50
9	58	62
12	68	70
15	79	82
18	88	89
21	92	93
24	97	98
27	99	100
30	100	101
33	98	101
36	99	100
39	98	99

PROTÓTIPO 3 - BATELADA No.4
Tomada 09 7/9/2005

tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	24	25
3	47	48
9	58	62
12	68	70
15	79	82
18	88	89
21	92	93
24	94	95
27	95	99
30	97	97
33	98	97
36	96	97
39	97	98

Tomada 10 13/1/2005

tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	26	26
3	26	27
9	29	31
12	33	34
15	35	37
18	38	40
21	41	44
24	46	46
27	46	48
30	47	47
33	48	48
36	48	47
39	48	48

Tomada 10 8/9/2005

tempo(min)	Água proc(oC)	Carcaça ext
0	25	27
3	48	50
9	58	62
12	68	70
15	79	82
18	85	88
21	86	90
24	88	93
27	91	95
30	90	97
33	94	98
36	96	97
39	97	99

APÊNDICE B

Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas das águas de alimentação e das águas processadas, utilizadas na pesquisa.

RESULTADOS DE ANÁLISES FÍSICO QUÍMICAS

1ª. Análise – Água de alimentação – Protótipo 1 – Data:20/12/04

RELATÓRIO DE ENSAIO

N.º PROCESSO:
CLIENTE: ELIEZER ABDALA
ENDEREÇO DO CLIENTE:
NATUREZA DO SERVIÇO: Análises Químicas e Físico-Químicas.
OBJETO DO SERVIÇO: Uma Amostra de água.

1. IDENTIFICAÇÃO DO OBJETO DO SERVIÇO:
Codificação da Divisão: protótipo 1
Amostra Coletada e Identificada pelo Interessado como: Água de poço – fonte NUTEC.
Data da Coleta:20/12/04
Data da Realização do Ensaio:11/02/05.

2. RESULTADOS DOS ENSAIOS:

pH a 25º C..... 7,73
Alcalinidade parcial (mgCaCO3/L) .....ñ detectado
Alcalinidade total (mgCaCO3/L)..... 55,4
Dureza total (mg CaCO3/L).....60,1
Nitritos (mgN-NO2- -/L) ..... ñ detectado
Sólidos dissolvidos (mg/L) 210,0
Sólidos totais (mg/L) 224,0
Cálcio(mgCa ++/L) 2,4
Magnésio (mgMg++/L) 15,2
Sódio (mgNa+/L) 33,9
Potássio (mgK+/L) 16,5
Ferro total (mgFe/L) .....ñ detectado
Cloretos (mgCI-/L) 62,5
Carbonatos(mgCO3- -/L).....ñ detectado
Bicarbonatos(mgHCO3-/L) 67,6
Hidróxidos(mgOH-/L) .....ñ detectado
Sulfatos(mgSO4- -/L) 8,8
Nitratos(mgN-NO3-/L) 2,9
Maganês (mg/LMn) .....ñ detectado
Cromo (mg/LCr) .....ñ detectado

3. CONDIÇÕES GERAIS :

3.1. Para a realização das análises foram seguidas as diretrizes gerais do STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATIONS OF WATER AND WASTEWATER.

Fortaleza,11 de fevereiro de 2005.

2ª. Análise – Água processada – Protótipo 1 – Data: 20/12/04

N.º PROCESSO:
CLIENTE: ELIEZER ABDALA
ENDEREÇO DO CLIENTE:
NATUREZA DO SERVIÇO: Análises Químicas e Físico-Químicas.
OBJETO DO SERVIÇO: Uma Amostra de água.

1. IDENTIFICAÇÃO DO OBJETO DO SERVIÇO:
Codificação da Divisão: protótipo 1
Amostra Coletada e Identificada pelo Interessado como: Água Processada pelo reator de cavitação.
Data da Coleta:20/12/04
Data da Realização do Ensaio:11/02/05.

2. RESULTADOS DOS ENSAIOS:

pH a 25º C..... 7,22
Alcalinidade parcial (mgCaCO3/L) .....ñ detectado
Alcalinidade total (mgCaCO3/L)..... 55,4
Dureza total (mg CaCO3/L).....44,3
Nitritos (mgN-NO2- -/L) 0,2
Sólidos dissolvidos (mg/L) 230,0
Sólidos totais (mg/L) 290,0
Cálcio(mgCa ++/L) 4,3
Magnésio (mgMg++/L) 8,1
Sódio (mgNa+/L) 24,1
Potássio (mgK+/L) 35,8
Ferro total (mgFe/L) 9,4
Cloretos (mgCI-/L) 62,5
Carbonatos(mgCO3- -/L).....ñ detectado
Bicarbonatos(mgHCO3-/L) 67,6
Hidróxidos(mgOH-/L) .....ñ detectado
Sulfatos(mgSO4- -/L) 9,2
Nitratos(mgN-NO3-/L) 7,9
Maganês (mg/LMn) .....ñ detectado
Cromo (mg/LCr) 0,05

3. CONDIÇÕES GERAIS :

3.1. Para a realização das análises foram seguidas as diretrizes gerais do STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATIONS OF WATER AND WASTEWATER.

Fortaleza,11 de fevereiro de 2005.

3ª. Análise – Água de alimentação – Protótipo 2 – Data:14/06/05

RELATÓRIO DE ENSAIO

N.º PROCESSO:
CLIENTE: ELIEZER ABDALA
ENDEREÇO DO CLIENTE:
NATUREZA DO SERVIÇO: Análises Químicas e Físico-Químicas.
OBJETO DO SERVIÇO: Uma Amostra de água.

1. IDENTIFICAÇÃO DO OBJETO DO SERVIÇO:
Codificação da Divisão: Protótipo 2
Amostra Coletada e Identificada pelo Interessado como: Água de poço – fonte NUTEC.
Data da Coleta:14/06/05
Data da Realização do Ensaio:22/06/05.

2. RESULTADOS DOS ENSAIOS:

pH a 25º C.....7,46
Condutividade (micromhos / cm).....242,0
Alcalinidade parcial (mgCaCO3/L).....ñ detectado
Alcalinidade total (mgCaCO3/L).....36,2
Dureza total (mg CaCO3/L).....37,0
Matéria Orgânica (mgO2cons/L).....ñ detectado
Nitritos (mgN-NO2- -/L).....ñ detectado
Sólidos dissolvidos (mg/L).....180,0
Sólidos totais (mg/L).....210,0
Cálcio(mgCa ++/L).....5,1
Magnésio (mgMg++/L).....5,9
Sódio (mgNa+/L).....44,0
Potássio (mgK+/L).....4,0
Ferro total (mgFe/L).....0,5
Cloretos (mgCl-/L).....54,6
Carbonatos(mgCO3- -/L).....ñ detectado
Bicarbonatos(mgHCO3-/L).....44,1
Hidróxidos(mgOH-/L).....ñ detectado
Sulfatos(mgSO4- -/L).....17,8
Nitratos(mgN-NO3-/L).....0.2

3. CONDIÇÕES GERAIS :

3.1. Para a realização das análises foram seguidas as diretrizes gerais do STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATIONS OF WATER AND WASTEWATER.

Fortaleza,22 de junho de 2005.

4ª. Análise – Água processada – Protótipo 2 – Data:14/06/05

N.º PROCESSO:
CLIENTE: ELIEZER ABDALA
ENDEREÇO DO CLIENTE:
NATUREZA DO SERVIÇO: Análises Químicas e Físico-Químicas.
OBJETO DO SERVIÇO: Uma Amostra de água.

1. IDENTIFICAÇÃO DO OBJETO DO SERVIÇO:
Codificação da Divisão: Amostra 2
Amostra Coletada e Identificada pelo Interessado como: Água Processada.
Data da Coleta:14/06/05
Data da Realização do Ensaio:22/06/05.

2. RESULTADOS DOS ENSAIOS:

pH a 25º C.....8,03
Condutividade (micromhos / cm).....260,0
Alcalinidade parcial (mgCaCO3/L).....ñ detectado
Alcalinidade total (mgCaCO3/L).....43,2
Dureza total (mg CaCO3/L).....20,4
Matéria Orgânica (mgO2cons/L).....ñ detectado
Nitritos (mgN-NO2- -/L).....0,4
Sólidos dissolvidos (mg/L).....194,0
Sólidos totais (mg/L).....228,0
Cálcio(mgCa ++/L).....6,2
Magnésio (mgMg++/L).....1,2
Sódio (mgNa+/L).....52,0
Potássio (mgK+/L).....5,3
Ferro total (mgFe/L).....0,7
Cloretos (mgCI-/L).....56,0
Carbonatos(mgCO3- -/L).....ñ detectado
Bicarbonatos(mgHCO3-/L).....52,7
Hidróxidos(mgOH-/L).....ñ detectado
Sulfatos(mgSO4- -/L).....18,6
Nitratos(mgN-NO3-/L)..... ñ detectado

3. CONDIÇÕES GERAIS :

3.1. Para a realização das análises foram seguidas as diretrizes gerais do STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATIONS OF WATER AND WASTEWATER.

Fortaleza,11 de fevereiro de 2005.

5ª. Análise – Água de alimentação – Protótipo 2 – Data: 30/06/05

RELATÓRIO DE ENSAIO

N.º PROCESSO:
CLIENTE: ELIEZER ABDALA
ENDEREÇO DO CLIENTE:
NATUREZA DO SERVIÇO: Análises Químicas e Físico-Químicas.
OBJETO DO SERVIÇO: Uma Amostra de água.

1. IDENTIFICAÇÃO DO OBJETO DO SERVIÇO:
Codificação da Divisão: Protótipo 2
Amostra Coletada e Identificada pelo Interessado como: Água de poço – fonte NUTEC.
Data da Coleta:30/06/05
Data da Realização do Ensaio:11/07/05.

2. RESULTADOS DOS ENSAIOS:

pH a 25º C.....7,72
Condutividade (micromhos / cm).....260,0
Alcalinidade parcial (mgCaCO3/L).....ñ detectado
Alcalinidade total (mgCaCO3/L).....39,2
Dureza total (mg CaCO3/L).....42,8
Matéria Orgânica (mgO2cons/L).....ñ detectado
Nitritos (mgN-NO2- -/L).....0,1
Sólidos dissolvidos (mg/L).....194,0
Sólidos totais (mg/L).....208,0
Cálcio(mgCa ++/L).....4,3
Magnésio (mgMg++/L).....7,8
Sódio (mgNa+/L).....46,0
Potássio (mgK+/L).....6,2
Ferro total (mgFe/L)..... ñ detectado
Cloretos (mgCl-/L).....61,8
Carbonatos(mgCO3- -/L).....ñ detectado
Bicarbonatos(mgHCO3-/L).....47,8
Hidróxidos(mgOH-/L).....ñ detectado
Sulfatos(mgSO4- -/L).....15,3
Nitratos(mgN-NO3-/L)..... 2,4

3. CONDIÇÕES GERAIS :

3.1. Para a realização das análises foram seguidas as diretrizes gerais do STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATIONS OF WATER AND WASTEWATER.

Fortaleza,11 de julho de 2005.

6ª. Análise – Água processada – Protótipo 2 – Data:30/06/05

N.º PROCESSO:
CLIENTE: ELIEZER ABDALA
ENDEREÇO DO CLIENTE:
NATUREZA DO SERVIÇO: Análises Químicas e Físico-Químicas.
OBJETO DO SERVIÇO: Uma Amostra de água.

1. IDENTIFICAÇÃO DO OBJETO DO SERVIÇO:
Codificação da Divisão: Amostra 2
Amostra Coletada e Identificada pelo Interessado como: Água Processada.
Data da Coleta:30/06/05
Data da Realização do Ensaio:11/07/05.

2. RESULTADOS DOS ENSAIOS:

pH a 25º C.....9,05
Condutividade (micromhos / cm).....310
Alcalinidade parcial (mgCaCO3/L).....ñ detectado
Alcalinidade total (mgCaCO3/L).....42,2
Dureza total (mg CaCO3/L).....41,8
Matéria Orgânica (mgO2cons/L).....ñ detectado
Nitritos (mgN-NO2- -/L).....0,3
Sólidos dissolvidos (mg/L).....224,0
Sólidos totais (mg/L).....283,0
Cálcio(mgCa ++/L).....3,9
Magnésio (mgMg++/L).....7,8
Sódio (mgNa+/L).....66,0
Potássio (mgK+/L).....10,5
Ferro total (mgFe/L)..... ñ detectado
Cloretos (mgCI-/L).....63,7
Carbonatos(mgCO3- -/L).....ñ detectado
Bicarbonatos(mgHCO3-/L).....51,5
Hidróxidos(mgOH-/L).....ñ detectado
Sulfatos(mgSO4- -/L).....16,0
Nitratos(mgN-NO3-/L)..... 2,4

3. CONDIÇÕES GERAIS :

3.1. Para a realização das análises foram seguidas as diretrizes gerais do STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATIONS OF WATER AND WASTEWATER.

Fortaleza,11 de julho de 2005.

7ª. Análise – Água alimentação – Protótipo 2 – Data:07/07/05

RELATÓRIO DE ENSAIO

N.º PROCESSO:
CLIENTE: ELIEZER ABDALA
ENDEREÇO DO CLIENTE:
NATUREZA DO SERVIÇO: Análises Químicas e Físico-Químicas.
OBJETO DO SERVIÇO: Uma Amostra de água.

1. IDENTIFICAÇÃO DO OBJETO DO SERVIÇO:
Codificação da Divisão: Amostra 1
Amostra Coletada e Identificada pelo Interessado como: Água Bruta, da Lagoa da UFC.
Data da Coleta:07/07/05
Data da Realização do Ensaio:11/07/05.

2. RESULTADOS DOS ENSAIOS:

pH a 25º C.....8,22
Condutividade (micromhos / cm).....510
Alcalinidade parcial (mgCaCO3/L).....ñ detectado
Alcalinidade total (mgCaCO3/L).....127,6
Dureza total (mg CaCO3/L).....117,8
Matéria Orgânica (mgO2cons/L).....7,6
Nitritos (mgN-NO2- -/L).....6,5
Sólidos dissolvidos (mg/L).....380,0
Sólidos totais (mg/L).....498,0
Cálcio(mgCa ++/L).....15,1
Magnésio (mgMg++/L).....13,5
Sódio (mgNa+/L).....68,0
Potássio (mgK+/L).....15,2
Ferro total (mgFe/L)..... ñ detectado
Cloretos (mgCI-/L).....56,0
Carbonatos(mgCO3- -/L).....ñ detectado
Bicarbonatos(mgHCO3-/L).....155,7
Hidróxidos(mgOH-/L).....ñ detectado
Sulfatos(mgSO4- -/L).....47,5
Nitratos(mgN-NO3-/L)..... .....,.2,3

3. CONDIÇÕES GERAIS :

3.1. Para a realização das análises foram seguidas as diretrizes gerais do STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATIONS OF WATER AND WASTEWATER.

Fortaleza,7 de julho de 2005.

8ª. Análise – Água processada – Protótipo 2 – Data:07/07/05

N.º PROCESSO:
CLIENTE: ELIEZER ABDALA
ENDEREÇO DO CLIENTE:
NATUREZA DO SERVIÇO: Análises Químicas e Físico-Químicas.
OBJETO DO SERVIÇO: Uma Amostra de água.

IDENTIFICAÇÃO DO OBJETO DO SERVIÇO:
Codificação da Divisão: Amostra 2
Amostra Coletada e Identificada pelo Interessado como: Água Processada.
Data da Coleta:07/07/05
Data da Realização do Ensaio:07/07/05.

2. RESULTADOS DOS ENSAIOS:

pH a 25º C.....8,07
Condutividade (micromhos / cm).....360
Alcalinidade parcial (mgCaCO3/L).....ñ detectado
Alcalinidade total (mgCaCO3/L).....68,3
Dureza total (mg CaCO3/L).....60,3
Matéria Orgânica (mgO2cons/L).....3,0
Nitritos (mgN-NO2- -/L).....8,7
Sólidos dissolvidos (mg/L).....258,0
Sólidos totais (mg/L).....286,0
Cálcio(mgCa ++/L).....21,4
Magnésio (mgMg++/L).....1,7
Sódio (mgNa+/L).....54,0
Potássio (mgK+/L).....6,4
Ferro total (mgFe/L)..... ñ detectado
Cloretos (mgCI-/L).....54,6
Carbonatos(mgCO3- -/L).....ñ detectado
Bicarbonatos(mgHCO3-/L).....83,4
Hidróxidos(mgOH-/L).....ñ detectado
Sulfatos(mgSO4- -/L).....35,1
Nitratos(mgN-NO3-/L)..... .....,.1,2

3. CONDIÇÕES GERAIS :

3.1. Para a realização das análises foram seguidas as diretrizes gerais do STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATIONS OF WATER AND WASTEWATER.

Fortaleza,07 de julho de 2005.

9ª. Análise – Água alimentação – Protótipo 2 – Data:14/07/05

RELATÓRIO DE ENSAIO

N.º PROCESSO:
CLIENTE: ELIEZER ABDALA
ENDEREÇO DO CLIENTE:
NATUREZA DO SERVIÇO: Análises Químicas e Físico-Químicas.
OBJETO DO SERVIÇO: Uma Amostra de água.

1. IDENTIFICAÇÃO DO OBJETO DO SERVIÇO:
Codificação da Divisão: Amostra 1
Amostra Coletada e Identificada pelo Interessado como: Água Bruta, da Lagoa da UFC.
Data da Coleta:14/07/05
Data da Realização do Ensaio:14/07/05.

2. RESULTADOS DOS ENSAIOS:

pH a 25º C.....7,95
Condutividade (micromhos / cm).....570
Alcalinidade parcial (mgCaCO3/L).....ñ detectado
Alcalinidade total (mgCaCO3/L).....127,6
Dureza total (mg CaCO3/L).....130,4
Matéria Orgânica (mgO2cons/L).....1,8
Nitritos (mgN-NO2- -/L).....0,7
Sólidos dissolvidos (mg/L).....426
Sólidos totais (mg/L).....508,0
Cálcio(mgCa ++/L).....27,2
Magnésio (mgMg++/L).....15,1
Sódio (mgNa+/L).....58,0
Potássio (mgK+/L).....4,9
Ferro total (mgFe/L).....1,2
Cloretos (mgCI-/L).....111
Carbonatos(mgCO3- -/L).....ñ detectado
Bicarbonatos(mgHCO3-/L).....155,7
Hidróxidos(mgOH-/L).....ñ detectado
Sulfatos(mgSO4- -/L).....46,8
Nitratos(mgN-NO3-/L)..... .....,.3,1

3. CONDIÇÕES GERAIS :

3.1. Para a realização das análises foram seguidas as diretrizes gerais do STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATIONS OF WATER AND WASTEWATER.

Fortaleza,14 de julho de 2005.

10ª. Análise – Água processada – Protótipo 2 – Data:07/07/05

N.º PROCESSO:
CLIENTE: ELIEZER ABDALA
ENDEREÇO DO CLIENTE:
NATUREZA DO SERVIÇO: Análises Químicas e Físico-Químicas.
OBJETO DO SERVIÇO: Uma Amostra de água.

1. IDENTIFICAÇÃO DO OBJETO DO SERVIÇO:
Codificação da Divisão: Amostra 2
Amostra Coletada e Identificada pelo Interessado como: Água Processada.
Data da Coleta:14/07/05
Data da Realização do Ensaio:14/07/05.

2. RESULTADOS DOS ENSAIOS:

pH a 25º C.....7,56
Condutividade (micromhos / cm).....362
Alcalinidade parcial (mgCaCO3/L).....ñ detectado
Alcalinidade total (mgCaCO3/L).....58,3
Dureza total (mg CaCO3/L).....80,8
Matéria Orgânica (mgO2cons/L).....1,4
Nitritos (mgN-NO2- -/L).....0,4
Sólidos dissolvidos (mg/L).....270
Sólidos totais (mg/L).....294
Cálcio(mgCa ++/L).....11,7
Magnésio (mgMg++/L).....12,5
Sódio (mgNa+/L).....56,0
Potássio (mgK+/L).....4,2
Ferro total (mgFe/L).....0,2
Cloretos (mgCI-/L).....87,8
Carbonatos(mgCO3- -/L).....ñ detectado
Bicarbonatos(mgHCO3-/L).....71,1
Hidróxidos(mgOH-/L).....ñ detectado
Sulfatos(mgSO4- -/L).....25,2
Nitratos(mgN-NO3-/L)..... 0,04

3. CONDIÇÕES GERAIS :

3.1. Para a realização das análises foram seguidas as diretrizes gerais do STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATIONS OF WATER AND WASTEWATER.

Fortaleza,07 de julho de 2005.

11ª. Análise – Água alimentação (s/inoculação) – Protótipo 3 – Data:10/02/06

RELATÓRIO DE ENSAIO

N.º PROCESSO:
CLIENTE: ELIEZER ABDALA
ENDEREÇO DO CLIENTE:
NATUREZA DO SERVIÇO: Análises Químicas e Físico-Químicas.
OBJETO DO SERVIÇO: Uma Amostra de água.

1. IDENTIFICAÇÃO DO OBJETO DO SERVIÇO:
Codificação da Divisão: Amostra 02
Amostra Coletada e Identificada pelo Interessado como: Água bruta.
Data da Coleta:10/02/06
Data da Realização do Ensaio:07/03/06.

2. RESULTADOS DOS ENSAIOS:

pH a 25º C.....8,12
Condutividade (micromhos / cm).....772
Alcalinidade parcial (mgCaCO3/L).....7,9
Alcalinidade total (mgCaCO3/L).....181,2
Dureza total (mg CaCO3/L).....91,2
Matéria Orgânica (mgO2cons/L).....0,1
Nitritos (mgN-NO2- -/L)..... ñ detectado
Sólidos dissolvidos (mg/L).....578
Sólidos totais (mg/L).....612
Cálcio(mgCa ++/L).....8,8
Magnésio (mgMg++/L).....16,8
Sódio (mgNa+/L).....138,0
Potássio (mgK+/L).....28,7
Ferro total (mgFe/L).....0,2
Cloretos (mgCI-/L).....133,8
Carbonatos(mgCO3- -/L).....9,8
Bicarbonatos(mgHCO3-/L).....71,1
Hidróxidos(mgOH-/L).....ñ detectado
Sulfatos(mgSO4- -/L).....33,8
Nitratos(mgN-NO3-/L)..... 6,6

3. CONDIÇÕES GERAIS :

3.1. Para a realização das análises foram seguidas as diretrizes gerais do STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATIONS OF WATER AND WASTEWATER.

Fortaleza,07 de março de 2006.

12ª. Análise – Água alimentação inoculada – Protótipo 3 – Data:10/02/06

N.º PROCESSO:
CLIENTE: ELIEZER ABDALA
ENDEREÇO DO CLIENTE:
NATUREZA DO SERVIÇO: Análises Químicas e Físico-Químicas.
OBJETO DO SERVIÇO: Uma Amostra de água.

1. IDENTIFICAÇÃO DO OBJETO DO SERVIÇO:
Codificação da Divisão: Amostra 03
Amostra Coletada e Identificada pelo Interessado como: Água bruta inoculada.
Data da Coleta:10/02/06
Data da Realização do Ensaio:07/03/06.

2. RESULTADOS DOS ENSAIOS:

pH a 25º C.....8,81
Condutividade (micromhos / cm).....778
Alcalinidade parcial (mgCaCO3/L).....29,7
Alcalinidade total (mgCaCO3/L).....181,2
Dureza total (mg CaCO3/L).....69,1
Matéria Orgânica (mgO2cons/L).....0,8
Nitritos (mgN-NO2- -/L)..... 0,04
Sólidos dissolvidos (mg/L).....583
Sólidos totais (mg/L).....618
Cálcio(mgCa ++/L).....10,3
Magnésio (mgMg++/L).....10,5
Sódio (mgNa+/L).....160,0
Potássio (mgK+/L).....31,9
Ferro total (mgFe/L).....0,2
Cloretos (mgCI-/L).....140,4
Carbonatos(mgCO3- -/L).....59,4
Bicarbonatos(mgHCO3-/L).....148,6
Hidróxidos(mgOH-/L).....ñ detectado
Sulfatos(mgSO4- -/L).....13,4
Nitratos(mgN-NO3-/L)..... 10,2

3. CONDIÇÕES GERAIS :

3.1. Para a realização das análises foram seguidas as diretrizes gerais do STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATIONS OF WATER AND WASTEWATER.

Fortaleza,07 de março de 2006.

13ª. Análise – Água processada – Protótipo 3 – Data:10/02/06

N.º PROCESSO:
CLIENTE: ELIEZER ABDALA
ENDEREÇO DO CLIENTE:
NATUREZA DO SERVIÇO: Análises Químicas e Físico-Químicas.
OBJETO DO SERVIÇO: Uma Amostra de água.

1. IDENTIFICAÇÃO DO OBJETO DO SERVIÇO:
Codificação da Divisão: Amostra 01
Amostra Coletada e Identificada pelo Interessado como: Água processada.
Data da Coleta:10/02/06
Data da Realização do Ensaio:07/03/06.

2. RESULTADOS DOS ENSAIOS:

pH a 25º C.....7,67
Condutividade (micromhos / cm).....326
Alcalinidade parcial (mgCaCO3/L).....ñ detectado
Alcalinidade total (mgCaCO3/L).....73,3
Dureza total (mg CaCO3/L).....29,4
Matéria Orgânica (mgO2cons/L).....2,4
Nitritos (mgN-NO2- -/L)..... 0,06
Sólidos dissolvidos (mg/L).....242
Sólidos totais (mg/L).....291
Cálcio(mgCa ++/L).....ñ detectado
Magnésio (mgMg++/L).....6,0
Sódio (mgNa+/L).....63,0
Potássio (mgK+/L).....10,0
Ferro total (mgFe/L).....0,8
Cloretos (mgCI-/L).....61,0
Carbonatos(mgCO3- -/L).....ñ detectado
Bicarbonatos(mgHCO3-/L).....89,4
Hidróxidos(mgOH-/L).....ñ detectado
Sulfatos(mgSO4- -/L).....7,5
Nitratos(mgN-NO3-/L).....1,6

3. CONDIÇÕES GERAIS :

3.1. Para a realização das análises foram seguidas as diretrizes gerais do STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATIONS OF WATER AND WASTEWATER.

Fortaleza,07 de março de 2006.

14ª. Análise – Água alimentação (s/inoculação) – Protótipo 3 – Data:21/02/06

RELATÓRIO DE ENSAIO

N.º PROCESSO:
CLIENTE: ELIEZER ABDALA
ENDEREÇO DO CLIENTE:
NATUREZA DO SERVIÇO: Análises Químicas e Físico-Químicas.
OBJETO DO SERVIÇO: Uma Amostra de água.

1. IDENTIFICAÇÃO DO OBJETO DO SERVIÇO:
Codificação da Divisão: Amostra 02
Amostra Coletada e Identificada pelo Interessado como: Água de poço.
Local da coleta: Poço
Data da Coleta:21/02/06
Data da Realização do Ensaio:03/03/06.

2. RESULTADOS DOS ENSAIOS:

pH a 25º C.....7,91
Condutividade (micromhos / cm).....1012,0
Alcalinidade parcial (mgCaCO3/L).....2,0
Alcalinidade total (mgCaCO3/L).....254,4
Dureza total (mg CaCO3/L).....156,0
Matéria Orgânica (mgO2cons/L).....ñ detectado
Nitritos (mgN-NO2- -/L)..... 0,01
Sólidos dissolvidos (mg/L).....758
Sólidos totais (mg/L).....842
Cálcio(mgCa ++/L).....11,4
Magnésio (mgMg++/L).....31,0
Sódio (mgNa+/L).....160,0
Potássio (mgK+/L).....30,7
Ferro total (mgFe/L).....0,2
Cloretos (mgCl-/L).....157,4
Carbonatos(mgCO3- -/L).....2,4
Bicarbonatos(mgHCO3-/L).....305,6
Hidróxidos(mgOH-/L).....ñ detectado
Sulfatos(mgSO4- -/L).....54,2
Nitratos(mgN-NO3-/L).....3,1

3. CONDIÇÕES GERAIS :

3.1. Para a realização das análises foram seguidas as diretrizes gerais do STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATIONS OF WATER AND WASTEWATER.

Fortaleza,07 de março de 2006.

15ª. Análise – Água alimentação inoculada– Protótipo 3 – Data:21/02/06

N.º PROCESSO:
CLIENTE: ELIEZER ABDALA
ENDEREÇO DO CLIENTE:
NATUREZA DO SERVIÇO: Análises Químicas e Físico-Químicas.
OBJETO DO SERVIÇO: Uma Amostra de água.

1. IDENTIFICAÇÃO DO OBJETO DO SERVIÇO:
Codificação da Divisão: Amostra 02 - B
Amostra Coletada e Identificada pelo Interessado como: Água de poço inoculada.
Data da Coleta:21/02/06
Data da Realização do Ensaio:03/03/06.

2. RESULTADOS DOS ENSAIOS:

pH a 25º C.....8,07
Condutividade (micromhos / cm).....964,0
Alcalinidade parcial (mgCaCO3/L).....10,9
Alcalinidade total (mgCaCO3/L).....248,5
Dureza total (mg CaCO3/L).....145,1
Matéria Orgânica (mgO2cons/L).....0,6
Nitritos (mgN-NO2- -/L)..... 0,3
Sólidos dissolvidos (mg/L).....721,0
Sólidos totais (mg/L).....834
Cálcio(mgCa ++/L).....8,4
Magnésio (mgMg++/L).....30,2
Sódio (mgNa+/L).....158,0
Potássio (mgK+/L).....28,0
Ferro total (mgFe/L).....0,9
Cloretos (mgCI-/L).....157,9
Carbonatos(mgCO3- -/L).....13,1
Bicarbonatos(mgHCO3-/L).....276,6
Hidróxidos(mgOH-/L).....ñ detectado
Sulfatos(mgSO4- -/L).....43,9
Nitratos(mgN-NO3-/L).....9,6

3. CONDIÇÕES GERAIS :

3.1. Para a realização das análises foram seguidas as diretrizes gerais do STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATIONS OF WATER AND WASTEWATER.

Fortaleza,07 de março de 2006.

16ª. Análise – Água processada – Protótipo 3 – Data:21/02/06

N.º PROCESSO:
CLIENTE: ELIEZER ABDALA
ENDEREÇO DO CLIENTE:
NATUREZA DO SERVIÇO: Análises Químicas e Físico-Químicas.
OBJETO DO SERVIÇO: Uma Amostra de água.

1. IDENTIFICAÇÃO DO OBJETO DO SERVIÇO:
Codificação da Divisão: Amostra 02 - A
Amostra Coletada e Identificada pelo Interessado como: Água processada com 25min.
Data da Coleta:21/02/06
Data da Realização do Ensaio:03/03/06.

2. RESULTADOS DOS ENSAIOS:

pH a 25º C.....7,15
Condutividade (micromhos / cm).....806,0
Alcalinidade parcial (mgCaCO3/L).....ñ detectado
Alcalinidade total (mgCaCO3/L).....163,4
Dureza total (mg CaCO3/L).....62,6
Matéria Orgânica (mgO2cons/L).....ñ detectado
Nitritos (mgN-NO2- -/L)..... 0,04
Sólidos dissolvidos (mg/L).....602
Sólidos totais (mg/L).....796
Cálcio(mgCa ++/L).....8,4
Magnésio (mgMg++/L).....10,1
Sódio (mgNa+/L).....154,0
Potássio (mgK+/L).....27,3
Ferro total (mgFe/L).....0,2
Cloretos (mgCI-/L).....153,2
Carbonatos(mgCO3- -/L)..... ñ detectado
Bicarbonatos(mgHCO3-/L).....199,3
Hidróxidos(mgOH-/L).....ñ detectado
Sulfatos(mgSO4- -/L).....46,5
Nitratos(mgN-NO3-/L).....1,1

3. CONDIÇÕES GERAIS :

3.1. Para a realização das análises foram seguidas as diretrizes gerais do STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATIONS OF WATER AND WASTEWATER.

Fortaleza,07 de março de 2006.

17ª. Análise – Água Alimentação (s/inoculação) – Protótipo 3 – Data:07/03/06

N.º PROCESSO:
CLIENTE: ELIEZER ABDALA
ENDEREÇO DO CLIENTE:
NATUREZA DO SERVIÇO: Análises Químicas e Físico-Químicas.
OBJETO DO SERVIÇO: Uma Amostra de água.

1. IDENTIFICAÇÃO DO OBJETO DO SERVIÇO:
Codificação da Divisão: Amostra 01
Amostra Coletada e Identificada pelo Interessado como: Água bruta.
Data da Coleta:10/02/06
Data da Realização do Ensaio:07/03/06.

2. RESULTADOS DOS ENSAIOS:

pH a 25º C.....8,34
Condutividade (micromhos / cm).....933
Alcalinidade parcial (mgCaCO3/L).....ñ detectado
Alcalinidade total (mgCaCO3/L).....207,9
Dureza total (mg CaCO3/L).....130,7
Matéria Orgânica (mgO2cons/L).....0,4
Nitritos (mgN-NO2- -/L).....0,07
Sólidos dissolvidos (mg/L).....614
Sólidos totais (mg/L).....848
Cálcio(mgCa ++/L).....10,1
Magnésio (mgMg++/L).....25,6
Sódio (mgNa+/L).....138,0
Potássio (mgK+/L).....7,3
Ferro total (mgFe/L).....3,5
Cloretos (mgCI-/L).....131,9
Carbonatos(mgCO3- -/L).....ñ detectado
Bicarbonatos(mgHCO3-/L).....53,6
Hidróxidos(mgOH-/L).....ñ detectado
Sulfatos(mgSO4- -/L).....37,4
Nitratos(mgN-NO3-/L).....3,8

3. CONDIÇÕES GERAIS :

3.1. Para a realização das análises foram seguidas as diretrizes gerais do STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATIONS OF WATER AND WASTEWATER.

Fortaleza,15 de março de 2006.

18ª. Análise – Água Alimentação inoculada – Protótipo 3 – Data:07/03/06

N.º PROCESSO:
CLIENTE: ELIEZER ABDALA
ENDEREÇO DO CLIENTE:
NATUREZA DO SERVIÇO: Análises Químicas e Físico-Químicas.
OBJETO DO SERVIÇO: Uma Amostra de água.

1. IDENTIFICAÇÃO DO OBJETO DO SERVIÇO:
Codificação da Divisão: Amostra 01
Amostra Coletada e Identificada pelo Interessado como: Água alimentação.
Data da Coleta:10/02/06
Data da Realização do Ensaio:07/03/06.

2. RESULTADOS DOS ENSAIOS:

pH a 25º C.....8,26
Condutividade (micromhos / cm).....933
Alcalinidade parcial (mgCaCO3/L).....ñ detectado
Alcalinidade total (mgCaCO3/L).....209
Dureza total (mg CaCO3/L).....130,7
Matéria Orgânica (mgO2cons/L).....0,4
Nitritos (mgN-NO2- -/L)..... 0,08
Sólidos dissolvidos (mg/L).....602
Sólidos totais (mg/L).....836
Cálcio(mgCa ++/L).....11,7
Magnésio (mgMg++/L).....24,7
Sódio (mgNa+/L).....136
Potássio (mgK+/L).....6,8
Ferro total (mgFe/L).....0,9
Cloretos (mgCI-/L).....131,0
Carbonatos(mgCO3- -/L).....ñ detectado
Bicarbonatos(mgHCO3-/L).....255
Hidróxidos(mgOH-/L).....ñ detectado
Sulfatos(mgSO4- -/L).....28,0
Nitratos(mgN-NO3-/L).....3,9

3. CONDIÇÕES GERAIS :

3.1. Para a realização das análises foram seguidas as diretrizes gerais do STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATIONS OF WATER AND WASTEWATER.

Fortaleza,15 de março de 2006.

19ª. Análise – Água processada – Protótipo 3 – Data:07/03/06

N.º PROCESSO:
CLIENTE: ELIEZER ABDALA
ENDEREÇO DO CLIENTE:
NATUREZA DO SERVIÇO: Análises Químicas e Físico-Químicas.
OBJETO DO SERVIÇO: Uma Amostra de água.

1. IDENTIFICAÇÃO DO OBJETO DO SERVIÇO:
Codificação da Divisão: Amostra 01
Amostra Coletada e Identificada pelo Interessado como: Água processada.
Data da Coleta:10/02/06
Data da Realização do Ensaio:07/03/06.

2. RESULTADOS DOS ENSAIOS:

pH a 25º C.....7,67
Condutividade (micromhos / cm).....837
Alcalinidade parcial (mgCaCO3/L).....ñ detectado
Alcalinidade total (mgCaCO3/L).....165
Dureza total (mg CaCO3/L).....40,2
Matéria Orgânica (mgO2cons/L).....0,5
Nitritos (mgN-NO2- -/L).....0,1
Sólidos dissolvidos (mg/L).....564
Sólidos totais (mg/L).....614
Cálcio(mgCa ++/L).....8,0
Magnésio (mgMg++/L).....4,9
Sódio (mgNa+/L).....156,0
Potássio (mgK+/L).....19,1
Ferro total (mgFe/L).....0,4
Cloretos (mgCI-/L).....139,0
Carbonatos(mgCO3- -/L).....ñ detectado
Bicarbonatos(mgHCO3-/L).....201,3
Hidróxidos(mgOH-/L).....ñ detectado
Sulfatos(mgSO4- -/L).....30,6
Nitratos(mgN-NO3-/L).....0,4

3. CONDIÇÕES GERAIS :

3.1. Para a realização das análises foram seguidas as diretrizes gerais do STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATIONS OF WATER AND WASTEWATER.

Fortaleza,15 de março de 2006.

RELATÓRIO DAS ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS

N.º PROCESSO: 118352
CLIENTE: ELIEZER ABDALA
ENDEREÇO DO CLIENTE: Partec-Nutec
NATUREZA DO SERVIÇO: Ensaio Microbiológico
OBJETO DO SERVIÇO: 4 amostras de água – **Protótipo 2**

1. IDENTIFICAÇÃO DO OBJETO DO SERVIÇO:
Codificação da Divisão: MBA 0995/05
Identificação do objeto pelo Interessado: 04 (quatro) amostras de água
Data de entrada no laboratório: 14/06/05
Hora: 15h10min
Natureza da amostra: Água para consumo humano Temperatura: ambiente

Coleta:
Responsável: Eliezer Abdala
Local: Experimento equipamento de cavitação- Partec
Data da Realização do Ensaio: 14/06/2005

Ensaios:
A1 → Água processada – Ponto de Saída Hora da coleta: 14h50min
A2 → Água processada – Ponto de Saída Hora da coleta: 14h50min
A3 → Água alimentação – Ponto de Entrada Hora da coleta: 14h50min
A4 → Água alimentação – Ponto de Entrada Hora da coleta: 14h50min
Data de início dos ensaios: 14/06/2005 Data do término dos ensaios: 21/06/2005
Observações: Água fornecida em frasco esterilizado pela DITAL/NUTEC

2. RESULTADOS DOS ENSAIOS:

Parâmetros	A-1	A-2	A-3	A-4	Legislação
Coliformes Totais (NPM/100mL)	4	9	4	4	Ausência
Coliformes Fecais (NPM/100mL)	<3	<3	<3	<3	Ausência
Contagem de Bactérias heterotróficas (UFC/mL)	3,6x10	$9,9x10^2$	$2x10^2$	$2,2x10^2$	$<5x10^2$

NPM: Número Mais Provável UFC: Unidades Formadoras de Colônias
Obs: < 3 corresponde a ausência

3. CONDIÇÕES GERAIS :
Para a realização das análises foram seguidas as diretrizes gerais dos Métodos recomendados no Manual "STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATIONS OF WATER AND WASTEWATER" da APHA, 1992.

4. NOTAS :
As amostras não se encontram dentro do padrão de qualidade microbiológico de acordo com a Portaria de No. 518, de 25 de março de 2004 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde.

Fortaleza, 23 de junho de 2005

N.º PROCESSO: 118352
CLIENTE: ELIEZER ABDALA
ENDEREÇO DO CLIENTE: Partec-Nutec
NATUREZA DO SERVIÇO: Ensaio Microbiológico
OBJETO DO SERVIÇO: 2 amostras de água – **Protótipo 2**

1. IDENTIFICAÇÃO DO OBJETO DO SERVIÇO:
Codificação da Divisão: MBA 1048/05
Identificação do objeto pelo Interessado: 04 (quatro) amostras de água
Data de entrada no laboratório: 23/06/05
Hora: 10h10min
Natureza da amostra: Água para consumo humano Temperatura: ambiente

Coleta:
Responsável: Eliezer Abdala
Local: Experimento equipamento de cavitação- Partec
Data da Realização do Ensaio: 23/06/2005

Ensaios:
A1 → Água processada – Ponto de Saída - Hora da coleta: 9h40min
A2 → Água de Alimentação – Ponto de entrada - Hora da coleta: 9h40min

Data de início dos ensaios: 23/06/2005 Data do término dos ensaios: 30/06/2005
Observações: Água fornecida em frasco esterilizado pela DITAL/NUTEC

2. RESULTADOS DOS ENSAIOS:

Parâmetros	A-1	A-2	Legislação
Coliformes Totais (NPM/100mL)	4	9	Ausência
Coliformes Fecais (NPM/100mL)	<3	<3	Ausência
Contagem de Bactérias heterotróficas (UFC/mL)	$1,2x10^3$	$2,8x10^2$	$<5x10^2$

NPM: Número Mais Provável UFC: Unidades Formadoras de Colônias
Obs: < 3 corresponde a ausência

3. CONDIÇÕES GERAIS :
Para a realização das análises foram seguidas as diretrizes gerais dos Métodos recomendados no Manual "STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATIONS OF WATER AND WASTEWATER" da APHA, 1992.

4. NOTAS :
As amostras não se encontram dentro do padrão de qualidade microbiológico de acordo com a Portaria de No. 518, de 25 de março de 2004 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde.

Fortaleza, 04 de julho de 2005

PROTÓTIPO 3
Coleta No.01
Data da coleta:_02/02/2006
Hora da coleta:_9h30min_
Local da coleta: Unidade piloto instalada no DITAL – NUTEC/PAR-TEC;
Tipo de amostra: Água de alimentação inoculada e Água processada
Responsável:_Eliezer Abdala

Coliformes Totais				**Coliformes Fecais**		
Código da amostra	células gr	células pq	Leitura	células gr	células pq	Leitura
AAI	40	48	241,1	22	6	36,4
A1	0	0	<1	0	0	<1
A2	0	0	<1	0	0	<1
A3	0	0	<1	0	0	<1
A4	0	0	<1	0	0	<1
A5	0	0	<1	0	0	<1
A6	0	0	<1	0	0	<1
A7	0	0	<1	0	0	<1

LEGENDA
AAI – Amostra de água de alimentação inoculada.
A1 – Amostra de água processada após _10_min de funcionamento do equipamento.
A2 – Amostra de água processada após _20_min de funcionamento do equipamento.
A3 – Amostra de água processada após _30_min de funcionamento do equipamento.
A4 – Amostra de água processada após _40_min de funcionamento do equipamento.
A5 – Amostra de água processada após _50_min de funcionamento do equipamento.
A6 – Amostra de água processada após _60_min de funcionamento do equipamento.
A7 – Amostra de água processada após _70_min de funcionamento do equipamento.

OBSERVAÇÕES:
Total de água bruta inoculada: 60L
1ª Coleta após 10 minutos de funcionamento
Temperatura da Água de Alimentação 26º C
Pressão de entrada: 15 mca
Para análise da água bruta, inoculada com esgoto bruto, foram realizadas duas diluições.

RESUMO DE RESULTADO - COLETA No.1 – 02/02/06 **Análise Microbiológica**		
Parâmetros	**Água de Alimentação**	**Água Processada**
Coliformes totais (NPM/100mL)	$2,41x10^6$	<1
Coliformes fecais(NPM/100mL)	$36,4x10^4$	<1

PROTÓTIPO 3
Coleta No.02
Data da coleta:_09/02/2006
Hora da coleta:_10h_
Local da coleta: Unidade piloto instalada no DITAL – NUTEC/PAR-TEC;
Tipo de amostra:Água de alimentação inoculada e Água processada
Responsável:_Eliezer Abdala

Coliformes Totais				**Coliformes Fecais**		
Código da amostra	células gr	células pq	Leitura	células gr	células pq	Leitura
AAI	42	48	290,5	31	48	142,5
A1	0	0	<1	0	0	<1
A2	0	0	<1	0	0	<1
A3	0	0	<1	0	0	<1
A4	0	0	<1	0	0	<1
A5	0	0	<1	0	0	<1
A6	0	0	<1	0	0	<1
A7	0	0	<1	0	0	<1

LEGENDA
AAI – Amostra de água de alimentação inoculada.
A1 – Amostra de água processada após _10_min de funcionamento do equipamento.
A2 – Amostra de água processada após _20_min de funcionamento do equipamento.
A3 – Amostra de água processada após _30_min de funcionamento do equipamento.
A4 – Amostra de água processada após _40_min de funcionamento do equipamento.
A5 – Amostra de água processada após _50_min de funcionamento do equipamento.
A6 – Amostra de água processada após _60_min de funcionamento do equipamento.
A7 – Amostra de água processada após _70_min de funcionamento do equipamento.

OBSERVAÇÕES:
Total de água bruta inoculada: 60L
1ª Coleta após 10 minutos de funcionamento
Temperatura da Água de Alimentação 26º C
Pressão de entrada: 15 mca
Para análise da água bruta, inoculada com esgoto bruto, foram realizadas duas diluições.

RESUMO DE RESULTADO – Coleta No.2 – 09/02/06 **Análise Microbiológica**		
Parâmetros	**Água de Alimentação**	**Água Processada**
Coliformes totais (NPM/100mL)	$2,905x10^6$	<1
Coliformes fecais(NPM/100mL)	$1,425x10^6$	<1

PROTÓTIPO 3
Coleta No.03
Data da coleta:_14/02/2006
Hora da coleta:_13h30min_
Local da coleta: Unidade piloto instalada no DITAL – NUTEC/PAR-TEC;
Tipo de amostra: Água de alimentação inoculada e Água processada
Responsável:_Eliezer Abdala

Coliformes Totais				**Coliformes Fecais**		
Código da amostra	células gr	células pq	Leitura	células gr	células pq	Leitura
AAI	49	28	547,5	16	12	33,7
A1	0	0	<1	0	0	<1
A2	0	0	<1	0	0	<1
A3	0	0	<1	0	0	<1
A4	0	0	<1	0	0	<1
A5	0	0	<1	0	0	<1
A6	0	0	<1	0	0	<1
A7	0	0	<1	0	0	<1

LEGENDA
AAI – Amostra de água de alimentação inoculada.
A1 – Amostra de água processada após _10_min de funcionamento do equipamento.
A2 – Amostra de água processada após _20_min de funcionamento do equipamento.
A3 – Amostra de água processada após _30_min de funcionamento do equipamento.
A4 – Amostra de água processada após _40_min de funcionamento do equipamento.
A5 – Amostra de água processada após _50_min de funcionamento do equipamento.
A6 – Amostra de água processada após _60_min de funcionamento do equipamento.
A7 – Amostra de água processada após _70_min de funcionamento do equipamento.

OBSERVAÇÕES:
Total de água bruta inoculada: 60L
1ª Coleta após 10 minutos de funcionamento
Temperatura da Água de Alimentação 26º C
Pressão de entrada: 15 mca
Para análise da água bruta, inoculada com esgoto bruto, foram realizadas duas diluições.

RESUMO DE RESULTADO – Coleta No.3 – 14/02/06 **Análise Microbiológica**		
Parâmetros	**Água de Alimentação**	**Água Processada**
Coliformes totais (NPM/100mL)	$5,475x10^6$	<1
Coliformes fecais(NPM/100mL)	$3,37x10^5$	<1

PROTÓTIPO 3
Coleta No.04
Data da coleta:_17/02/2006
Hora da coleta:_14h30min_
Local da coleta: Unidade piloto instalada no DITAL – NUTEC/PAR-TEC;
Tipo de amostra: Água de alimentação inoculada e Água processada
Responsável:_Eliezer Abdala

Coliformes Totais				**Coliformes Fecais**		
Código da amostra	células gr	células pq	Leitura	células gr	células pq	Leitura
AAI	40	36	185,2	28	46	121,4
A1	0	0	<1	0	0	<1
A2	0	0	<1	0	0	<1
A3	0	0	<1	0	0	<1
A4	0	0	<1	0	0	<1
A5	0	0	<1	0	0	<1
A6	0	0	<1	0	0	<1
A7	0	0	<1	0	0	<1

LEGENDA
AAI – Amostra de água de alimentação inoculada.
A1 – Amostra de água processada após _10_min de funcionamento do equipamento.
A2 – Amostra de água processada após _20_min de funcionamento do equipamento.
A3 – Amostra de água processada após _30_min de funcionamento do equipamento.
A4 – Amostra de água processada após _40_min de funcionamento do equipamento.
A5 – Amostra de água processada após _50_min de funcionamento do equipamento.
A6 – Amostra de água processada após _60_min de funcionamento do equipamento.
A7 – Amostra de água processada após _70_min de funcionamento do equipamento.

OBSERVAÇÕES:
Total de água bruta inoculada: 60L
1ª Coleta após 10 minutos de funcionamento
Temperatura da Água de Alimentação 26º C
Pressão de entrada: 15 mca
Para análise da água bruta, inoculada com esgoto bruto, foram realizadas duas diluições.

RESUMO DE RESULTADO – Coleta No.4 – 17/02/06 **Análise Microbiológica**		
Parâmetros	**Água de Alimentação**	**Água Processada**
Coliformes totais (NPM/100mL)	$1,852x10^6$	<1
Coliformes fecais(NPM/100mL)	$1,214x10^6$	<1

PROTÓTIPO 3
Coleta No.05
Data da coleta:_21/02/2006
Hora da coleta:_9h10min_
Local da coleta: Unidade piloto instalada no DITAL – NUTEC/PAR-TEC;
Tipo de amostra: Água de alimentação inoculada e Água processada
Responsável:_Eliezer Abdala

Coliformes Totais				**Coliformes Fecais**		
Código da amostra	células gr	células pq	Leitura	células gr	células pq	Leitura
AAI	44	46	352,4	19	0	23,3
A1	0	0	<1	0	0	<1
A2	0	0	<1	0	0	<1
A3	0	0	<1	0	0	<1
A4	0	0	<1	0	0	<1
A5	0	0	<1	0	0	<1
A6	0	0	<1	0	0	<1
A7	0	0	<1	0	0	<1

LEGENDA
AAI – Amostra de água de alimentação inoculada.
A1 – Amostra de água processada após _10_min de funcionamento do equipamento.
A2 – Amostra de água processada após _20_min de funcionamento do equipamento.
A3 – Amostra de água processada após _30_min de funcionamento do equipamento.
A4 – Amostra de água processada após _40_min de funcionamento do equipamento.
A5 – Amostra de água processada após _50_min de funcionamento do equipamento.
A6 – Amostra de água processada após _60_min de funcionamento do equipamento.
A7 – Amostra de água processada após _70_min de funcionamento do equipamento.

OBSERVAÇÕES:
Total de água bruta inoculada: 60L
1ª Coleta após 10 minutos de funcionamento
Temperatura da Água de Alimentação 26º C
Pressão de entrada: 15 mca
Para análise da água bruta, inoculada com esgoto bruto, foram realizadas duas diluições.

RESUMO DE RESULTADO – Coleta No.5 – 21/02/06 **Análise Microbiológica**		
Parâmetros	**Água de Alimentação**	**Água Processada**
Coliformes totais (NPM/100mL)	$3,524x10^6$	<1
Coliformes fecais(NPM/100mL)	$23,3x10^4$	<1

PROTÓTIPO 3
Coleta No.06
Data da coleta:_07/03/2006
Hora da coleta:_8h30min_
Local da coleta: Unidade piloto instalada no DITAL – NUTEC/PAR-TEC;
Tipo de amostra: Água de alimentação inoculada e Água processada
Responsável:_Eliezer Abdala

Coliformes Totais				**Coliformes Fecais**		
Código da amostra	células gr	células pq	Leitura	células gr	células pq	Leitura
AAI	41	7	95,9	15	1	18,7
A1	0	0	<1	0	0	<1
A2	0	0	<1	0	0	<1
A3	0	0	<1	0	0	<1
A4	0	0	<1	0	0	<1
A5	0	0	<1	0	0	<1
A6	0	0	<1	0	0	<1
A7	0	0	<1	0	0	<1

LEGENDA
AAI – Amostra de água de alimentação inoculada.
A1 – Amostra de água processada após _10_min de funcionamento do equipamento.
A2 – Amostra de água processada após _20_min de funcionamento do equipamento.
A3 – Amostra de água processada após _30_min de funcionamento do equipamento.
A4 – Amostra de água processada após _40_min de funcionamento do equipamento.
A5 – Amostra de água processada após _50_min de funcionamento do equipamento.
A6 – Amostra de água processada após _60_min de funcionamento do equipamento.
A7 – Amostra de água processada após _70_min de funcionamento do equipamento.

OBSERVAÇÕES:
Total de água bruta inoculada: 60L
1ª Coleta após 10 minutos de funcionamento
Temperatura da Água de Alimentação 26º C
Pressão de entrada: 15 mca
Para análise da água bruta, inoculada com esgoto bruto, foram realizadas duas diluições.

RESUMO DE RESULTADO – Coleta No.6 – 07/03/06 **Análise Microbiológica**		
Parâmetros	**Água de Alimentação**	**Água Processada**
Coliformes totais (NPM/100mL)	$9,59x10^5$	<1
Coliformes fecais(NPM/100mL)	$1,87x10^5$	<1