



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS  
E SANEAMENTO**



**MARCELLE MARIA PAIS SILVA REBÊLO**

**CARACTERIZAÇÃO DE ÁGUAS CINZAS E NEGRAS DE ORIGEM  
RESIDENCIAL E ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE REATOR  
ANAERÓBIO COM CHICANAS**

**MACEIÓ  
2011**

**MARCELLE MARIA PAIS SILVA REBÊLO**

**CARACTERIZAÇÃO DE ÁGUAS CINZAS E NEGRAS DE ORIGEM  
RESIDENCIAL E ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE REATOR ANAERÓBIO COM  
CHICANAS**

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento – PPGRHS da Universidade Federal de Alagoas, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Gomes Barboza.

MACEIÓ

2011

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**  
**Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale**

- R291c Rebêlo, Marcelle Maria Pais Silva.  
Caracterização de águas cinzas e negras de origem residencial e análise da eficiência de reator anaeróbio com chicanas / Marcelle Maria Pais Silva Rebêlo. – 2011.  
113 f. : il.
- Orientador: Márcio Gomes Barboza.  
Dissertação (mestrado em Engenharia : Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2011.
- Bibliografia: f. 100-110.  
Apêndice: f. 111-113.
1. Segregação de efluentes. 2. Água – Reutilização. 3. Tratamento biológico de esgotos. 4. Reator de leito fixo. 5. Casca de coco verde. I. Título.

CDU: 628.3



Universidade Federal de Alagoas – UFAL  
Centro de Tecnologia – CTEC  
Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamentos – PPGRHS  
Campus A. C. Simões, Av. Lourival de Melo Mota, S/N  
Tabuleiro do Martins – CEP 57072-970 – Maceió – Alagoas  
Tel/Fax: (82) 3214-1279  
E-mail: ppgrhs@yahoo.com  
Homepage://www.ctec.ufal.br/posgraduacao/ppgrhs



**ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DO CURSO DE MESTRADO  
DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E  
SANEAMENTO – PPGRHS**

Em sessão pública, às quatorze horas do dia dezoito de março de dois mil e onze, na Sala de Aula do Programa de Pós-Graduação de Recursos Hídricos e Saneamento, foi iniciada a DEFESA DE DISSERTAÇÃO da aluna MARCELLE MARIA PAIS SILVA REBÊLO, tendo como tema: **“CARACTERIZAÇÃO DE ÁGUAS CINZAS E NEGRAS DE ORIGEM RESIDENCIAL E ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE REATOR ANAERÓBIO COM CHICANAS”**, como requisito parcial para obtenção do título de **MESTRE EM RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO**. A Banca Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Prof. Dr. Marcio Gomes Barboza (Orientador/PPGRHS/UFAL), Prof<sup>a</sup> Dra. Ivete Vasconcelos Lopes Ferreira (PPGRHS/UFAL), Prof. Dr. Eduardo Lucena Amorim (PPGRHS/UFAL), e o Prof. Dr. Vicente Rodolfo Santos Cezar (UFAL). Após o encerramento da defesa, em reunião confidencial, a Banca Examinadora, com base no Regimento Interno, decidiu por **APROVAR** a dissertação de mestrado, devendo a mesma apresentar as correções apontadas pela banca. Para tal foi estabelecido um prazo máximo de 45 dias para a entrega da dissertação devidamente corrigida.

Em 01/04/2011.

Prof. Dr. Márcio Gomes Barboza (Orientador/PPGRHS/UFAL)

Prof. Dr. Eduardo Lucena Cavalcante de Amorim (PPGRHS/UFAL)

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ivete Vasconcelos Lopes Ferreira (PPGRHS/UFAL)

Prof. Dr. Vicente Rodolfo Santos Cezar (UFAL)

*Aos meus queridos pais pelo amor e pela formação a mim dada. Às minhas irmãs pela amizade e incentivos ao longo de minha caminhada. Aos meus cunhados e sobrinhos, pelo carinho da família sempre presente.*

*À Eduardo Rebêlo, por dividir comigo todos os momentos de nossas vidas, por seu amor, compreensão, ajuda, companheirismo; sem todos esses elementos eu não estaria concluindo mais esta etapa em minha vida.*

*Dedico*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao orientador do trabalho, Prof. Dr. Márcio Barboza pelo ensinamento, paciência e incentivo prestados durante todo o período do mestrado.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento da Universidade Federal de Alagoas, que muito contribuíram para o meu crescimento profissional.

Ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento.

Ao técnico do laboratório Fisiologia Vegetal do CECA/UFAL, Manuel Messias pela ajuda despendida durante o período de análises do experimento. A técnica do laboratório LSA – Laboratório de Saneamento da UFAL, Florilda Silva pela paciência no ensinamento das metodologias. Aos graduandos de Engenharia Civil e Ambiental Samuel Tenório, Ticiane Agra, Thomás Pimentel, Alson Rodrigues e Araceli Fazzio, pois sem a ajuda dos mesmos esse trabalho não teria sido desenvolvido.

A todos os colegas do curso, pela troca de experiências e ajuda mútua e contínua.

Aos engenheiros e arquitetos da SINFRA/UFAL, colegas de trabalho, pela compreensão e apoio durante os períodos de ausência. Em especial, aos engenheiros João de Lima e Silva e Jaqueline Cabral, pela paciência com os questionamentos constantes e a grande ajuda na finalização do presente trabalho.

Aos amigos e familiares pelo apoio constante.

A todos, meus sinceros agradecimentos!

*"Com amor inquebrantável e propósito  
definido toda dificuldade se vence e  
todo obstáculo se transpõe."*

(Orison Swett Marden)

## RESUMO

REBÊLO, M. M. P. S. **Caracterização de águas cinzas e negras de origem residencial e análise da eficiência de reator anaeróbio com chicanas**. 2011. 111 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2011.

Diante do uso incondicional do recurso hídrico para a vida, é de suma importância a utilização de meios que sejam capazes de evitar desperdícios. Uma construção para ser sustentável, deve ser dotada de mecanismos que possam contribuir para a minimização de impactos ao ambiente desde sua construção até seu uso final, como o aproveitamento de fontes alternativas de energia e águas para fins não potáveis. Tomando-se por base os aspectos do aumento do consumo, a diminuição das reservas disponíveis e o crescente aumento da poluição dos recursos hídricos, vem à tona a questão do “reuso de águas residuárias”, sendo uma alternativa para o uso de água de finalidade não potável. Para o reuso, é interessante a segregação dos efluentes, pois as águas cinzas são as ideais para o reaproveitamento por sua baixa carga orgânica e as águas negras, segregadas, possuem baixo volume, possibilitando menores gastos com seu sistema de tratamento. O sistema de tratamento do presente trabalho operava com os efluentes segregados, a água cinza era direcionada para um tanque de equalização e as negras para um reator anaeróbio com chicanas de fluxo vertical com meio suporte, este foi adicionado após 1 ano de partida do sistema. A água cinza, não recebeu efluentes da cozinha, os mesmos eram direcionados para o sistema das águas negras, juntamente com os efluentes do vaso sanitário. Foram desenvolvidas atividades de caracterização dos efluentes e monitoramento do sistema durante 5 meses. A água cinza analisada foi um efluente doméstico com baixa qualidade, pois apresentava alto valor de coliformes termotolerantes. Constatou-se assim, necessidade de um processo de desinfecção para as mesmas se adequarem aos níveis exigidos para reuso em irrigação de jardins. Diante das condições ambientais, culturais e econômicas do Brasil, soluções funcionalmente simples são as que utilizam os processos “mais naturais”, ou seja, reatores menos mecanizados e mais fáceis de serem construídos e operados. O reator anaeróbio (em escala real) em estudo, foi um exemplo desses, possuía chicanas e meio suporte de casca de coco verde, sendo este sistema denominado de Reator Anaeróbio Horizontal com Chicanas (RACH). O reator demonstrou boa remoção de sólidos sedimentáveis, aproximadamente 94%. Quanto à DQO, sua eficiência de remoção ficou próxima a 62%, este resultado é satisfatório para um sistema de tratamento anaeróbio de efluentes com alta concentração de carga orgânica. Logo, o emprego da casca de coco verde como meio suporte e o desempenho do RACH, foi viável e satisfatório.

**Palavras-chave:** Segregação de efluentes. Água - Reutilização. Tratamento biológico de esgotos. Reator de leito fixo. Casca de coco verde.



## ABSTRACT

REBÊLO, M. M. P. S. **Characterization of greywater and Black water of Residential Source and Efficiency Analysis of Anaerobic Reactor with Baffles.** 2011. 111 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2011.

Given the unconditional use of the water resource for life is of paramount importance the application of means that are able to avoid waste. A building to be sustainable, must be provided with mechanisms that contribute to minimize impacts to environment from its construction to its final use, such as the utilization of alternative sources of energy and water for non potable purposes. Based on the aspects of increased consumption, the depletion of available reserves and the raise of water resources pollution, emerges the question of "the reuse of wastewater as an alternative for the use of non-potable water. To reuse, is interesting to separate the effluent, because the graywaters are suitable for reuse by low organic load and the, segregated, black waters have low volume allowing lower expenses in their treatment system. The treatment system of the present work operated with segregated wastewater, graywater was piped to a equalization tank and the black water to an anaerobic reactor with support medium, this was added after one year of starting the system. The graywater in this study did not receive effluent from the kitchen, they were directed to the black water system, along with the toilet wastewater. Activities were developed for characterization of effluents and monitoring system for 5 months. The graywater analyzed was a domestic wastewater with low quality because presenting high amount of fecal coliform. It was found so need for a disinfection process for them to adapt themselves to levels required for reuse in watering gardens. Given the environmental, cultural and economic conditions in Brazil, functionally simple solutions are processes that use "the more natural" ones, in other words, are the reactors less mechanized and easier to be constructed and operated. The anaerobic reactor (in full-scale) studied was such an example, had baffles and a resource support of green coconut shell, and this system was called Horizontal Anaerobic Reactor with Baffles (RACH). It showed good removal of settleable solids, approximately 94%. As for COD, its removal efficiency was close to 62%, this result is acceptable to an anaerobic treatment system effluent with high concentration of organic load, Therefore, the use of green coconut shell as a resource support and the performance of the RACH were feasible and satisfactory.

**Key-words:** Segregation of wastewater. Water reuse. Biological treatment of sewage. Fixed bed reactor. Green coconut shell.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição da massa de água no planeta..	19
Figura 2 – Destinação do consumo de água no Brasil.	20
Figura 3 - BedZED (Beddington Zero Energy Development), na Inglaterra, condomínio de 100 casas e escritórios construídos sustentavelmente.....	28
Figura 4 – Swiss e Tower, Londres - Ano de fundação 2004 – O edifício utiliza 50% menos energia que outros do mesmo tamanho.....	28
Figura 5 – The Green Building, África do sul - Ano de fundação 2003- Construído com blocos de concreto reciclado e madeira de áreas de reflorestamento.....	29
Figura 6 – Edifício Cidade Nova – RJ.	30
Figura 7 – Mc Donald’s Riviera de São Lourenço.	31
Figura 8 – Reator retangular anaeróbio de leito fixo com fluxo ascendente.....	59
Figura 9 – Reator anaeróbio horizontal compartimentado.	60
Figura 10 – Cascas de coco verde utilizadas em reator anaeróbio.....	63
Figura 11 – a) Cidade de Maceió – capital de Alagoas; b) Bairro Serraria com seus bairros adjacentes dentro da cidade de Maceió, local onde está inserido o objeto de estudo.....	68
Figura 12 – Planta de situação (sem escala). Em vermelho lote onde encontra-se implantado o sistema estudado, em rosa ponto de referência – depósito de gás e em cinza a Av. Menino Marcelo.	70
Figura 13 – Planta baixa inferior (sem escala), nível -2,60m, com localização do sistema de tratamento proposto no terreno.....	70
Figura 14 – Segregação das águas cinzas e negras em banheiro da residência unifamiliar objeto de estudo.....	71
Figura 15 – Tanque equalizador para as águas cinzas.....	71
Figura 16 – Configuração do sistema de tratamento proposto.....	71
Figura 17 – Planta baixa (sem escala) do sistema de tratamento proposto.....	72
Figura 18 – Reator anaeróbio com meio suporte de fluxo horizontal com chicanas estudado.....	73
Figura 19 – Corte RACH (sem escala).....	73

Figura 20 – Sistema estudado: a) Visita das câmaras; b) Entrada águas cinzas; c) Entrada águas negras.....	74
Figura 21 – Câmara com meio suporte – casca de coco verde. ....	74
Figura 22 – Locação dos pontos de coleta: A=Ponto de coleta água cinza; B=Ponto de coleta água negra e C=Ponto de coleta água negra tratada. ....	76
Figura 23 – Coleta: a) Câmara aberta; b) Amarração do recipiente a ser submerso; c) Imersão do recipiente na câmara; d) Passagem do efluente coletado para recipiente a ser levado ao laboratório para posteriores análises. ....	76
Figura 24 – 1 - Água cinza, 2 - Água negra, 3 - Água negra tratada.....	78
Figura 25 – Variação do parâmetro cor (UC) durante o período de amostragem	88
Figura 26 – Variação do parâmetro turbidez (NTU) durante o período de amostragem. ....	88
Figura 27 – Variação do parâmetro Sólidos Fixos (mg/L) durante o período de amostragem. ....	90
Figura 28 – Variação do parâmetro Sólidos Voláteis (mg/L) durante o período de amostragem. ....	90
Figura 29 – Variação do parâmetro DQO (mg/L) durante o período de amostragem. ....	91
Figura 30 – Variação do parâmetro DQO (mg/L) durante o período de amostragem 2 .....	91
Figura 31 – Variação do parâmetro DBO (mg/L) durante o período de amostragem. ....	92
Figura 32 – Variação do parâmetro Cloretos (mg/L) durante o período de amostragem. ....	93
Figura 33 – Variação do parâmetro Fósforo (mg/L) durante o período de amostragem. ....	93
Figura 34 – Variação do parâmetro Nitrogênio Amoniacal (mg/L) durante o período de amostragem. ....	94
Figura 35 – Variação do parâmetro Nitrogênio Amoniacal (mg/L) durante o período de amostragem 2 .....	94
Figura 36 – Variação do parâmetro Alcalinidade (mg/L) durante o período de amostragem. ....	95

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quantificação do consumo doméstico de água.....	21
Tabela 2 – Parâmetros para reuso de águas residuárias para específicos usos.	37
Tabela 3 – Principais características físicas, químicas e biológicas do esgoto doméstico.....	48
Tabela 4 – Caracterização química da casca de coco verde. ....	64
Tabela 5 – Agentes infectantes, suas formas de transmissão e doenças causadas .....	66
Tabela 6 – Parâmetros de qualidade das águas residuárias avaliados. ....	77
Tabela 7 – Resultados das características biológicas – águas cinzas .....	79
Tabela 8 – Resultados das características físicas – águas cinzas.....	80
Tabela 9 – Resultados das características químicas – águas cinzas.....	81
Tabela 10 – Resultados das características biológicas – águas negras. ....	83
Tabela 11 – Resultados das características físicas – águas negras. ....	84
Tabela 12 – Resultados das características químicas – águas negras.....	85
Tabela 13 – Índice de remoção de coliformes no RACH.....	87
Tabela 14 – Caracterização física - RACH.....	87
Tabela 15 – Caracterização química – RACH .....	89
Tabela 16 – Orçamento do projeto hidrossanitário convencional e proposto.....	96

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	– Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABR	– Anaerobic Baffled Reactor - Reator Anaeróbio Compartimentado ou de Chicanas
ANA	– Agência Nacional de Águas
APHA	– American Public Health Association
AQUA	– Alta Qualidade Ambiental
AsBEA	– Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura
BDI	– Benefícios e Despesas Indiretas
BedZED	– Beddington Zero Energy Development
BREEAM	– Building Research Establishment Environmental Assessment Method
Ca	– Cálcio
CaCO <sub>3</sub>	– Carbonato de Cálcio
CASBEE	– Comprehensive Assessment System for Building
CBCS	– Conselho Brasileiro de Construção Sustentável
CO <sub>2</sub>	– Dióxido de Carbono
CONAMA	– Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	– Demanda Bioquímica de Oxigênio
DBO <sub>5</sub>	– Demanda bioquímica de oxigênio para consumo de 5 dias a 20°C
DQO	– Demanda Química de Oxigênio
Fe	– Ferro
FUNASA	– Fundação Nacional de Saúde
GBCBrasil	– Green Building Council Brasil
H <sub>2</sub>	– Hidrogênio
HQE	– Haute Qualité Environnementale
H <sub>2</sub> S	– Sulfeto de Hidrogênio
IBGE	– Instituto Brasileiro de Geografia
IDEC	– Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor
IDHEA-Falcão Bauer	– Selo Ecológico para Produtos e Tecnologias
IMA	– Instituto do Meio Ambiente de Alagoas
K	– Potássio

LEED	– Leadership in Energy and Environmental Design Environmental Efficiency
LSA	– Laboratório de Saneamento Ambiental da UFAL
Mg	– Magnésio
MMA	– Ministério do Meio Ambiente
N	– Nitrogênio
NBR	– Norma Brasileira
NH <sub>3</sub>	– Amônia
NABERS	– National Australian Built Environment Rating System Sustentáveis
NMP	– Número mais provável
OCDE	– Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OMS	– Organização Mundial de Saúde
ONU	– Organização das Nações Unidas
ORSE	– Orçamento de Obras de Sergipe
P	– Fósforo
PETROBRAS	– Petróleo Brasileiro
Ph	– Potencial Hidrogeniônico
PNSB	– Pesquisa Nacional de Saneamento
PVC	– Cloreto de polivinila
RACH	– Reator Anaeróbio com Chicanas
SINGREH	– Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
UASB	– Upflow Anaerobic Sludge Blanket
uC	– Unidade de cor
UE	– União Européia
UFAL	– Universidade Federal de Alagoas
UFC	– Unidades Formadoras de Colônias
UNT	– Unidades Nefelométricas de Turbidez
USBCG	– United States Green Building Council
USP	– Universidade de São Paulo
USEPA	– United States Environmental Protection Agency

WCED

– Comissão Mundial sobre Ambiente e desenvolvimento

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>19</b>
<b>2.1 Recursos Hídricos</b> .....	<b>19</b>
<b>2.2 Sustentabilidade</b> .....	<b>21</b>
2.2.1 Construções Sustentáveis .....	24
<b>2.3 Reuso de Águas Residuárias</b> .....	<b>31</b>
2.3.1 Reuso na Irrigação .....	34
<b>2.4 Legislação e Normas para Reuso</b> .....	<b>36</b>
2.4.1 Agenda 21 .....	37
2.4.2 Lei N <sup>o</sup> 9.433, de 08 de janeiro de 1997 .....	38
2.4.3 Lei N <sup>o</sup> 11.445, de 5 de janeiro de 2007 .....	38
2.4.4 Lei N <sup>o</sup> 4.548, de 21 de novembro de 1996 .....	40
2.4.5 Lei N <sup>o</sup> 5.965, de 10 de novembro de 1997 .....	41
2.4.6 Decreto de 22 de março de 2005 .....	41
2.4.7 Resolução do CONAMA n <sup>o</sup> 54, de 28 de novembro de 2005 .....	42
2.4.8 Resolução do CONAMA N <sup>o</sup> 357, de 17 de março de 2005 .....	44
2.4.9 NBR 13.969 (1997) Tanques sépticos.....	45
<b>2.5 Esgotos Domésticos</b> .....	<b>46</b>
2.5.1 Águas Cinzas .....	50
2.5.2 Águas Negras .....	52
<b>2.6 Tratamento Biológico Anaeróbio</b> .....	<b>54</b>
2.6.1 Sistemas de Tratamento Anaeróbio .....	58
<b>2.7 Uso da casca de coco verde como meio suporte</b> .....	<b>61</b>
<b>2.8 Efeitos Ambientais e Sanitários do Reuso</b> .....	<b>64</b>
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>68</b>
<b>3.1 Características Edafoclimáticas de Maceió-AL</b> .....	<b>68</b>
<b>3.2 Implantação do Objeto de Estudo</b> .....	<b>69</b>
<b>3.3 O sistema de tratamento biológico implantado</b> .....	<b>70</b>
3.3.1 O projeto.....	70
3.3.2 Operação e manutenção .....	75
<b>3.4 Caracterização física, química e biológica dos efluentes brutos e tratados</b> .....	<b>75</b>



3.4.1 Coletas .....	75
3.4.2 Parâmetros avaliados.....	76
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>78</b>
<b>4.1 Águas Cinzas .....</b>	<b>78</b>
<b>4.2 Águas Negras.....</b>	<b>82</b>
<b>4.3 Reator Anaeróbio Horizontal com Chicanas e Meio Suporte – RACH ....</b>	<b>86</b>
<b>4.4 Custo de Implantação.....</b>	<b>95</b>
<b>5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>98</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>100</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>111</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Muitos são os termos utilizados, referindo-se a um tipo de construção sócio-ambientalmente mais adequada.

Uma edificação sustentável pode ser definida como práticas de construção que se esforçam para atingir a qualidade integral de forma ampla (desempenho econômico, social e ambiental), reduzindo o consumo de recursos escassos e aumentando a qualidade ambiental. O desempenho da habitação tem relação direta com a qualidade da mesma e satisfação do usuário (AZEVEDO *et al*, 2006, p. 4).

O desempenho é a resposta satisfatória do objeto em avaliação para o usuário, torna-se uma ferramenta de avaliação para produtos e materiais sem padrões estabelecidos. O desempenho de qualquer sistema deve ser avaliado, com maior conscientização ambiental. Há necessidade pela busca de alternativas que venham minimizar os efeitos da construção civil através de soluções inovadoras e eficientes, visando o uso racional da água, da energia elétrica e menor impacto ambiental.

A água é fundamental para a vida, sendo assim é necessário a criação de meios capazes de atenuar seu gasto descontrolado, evitar ou minimizar sua poluição. No Brasil, desde a década de 80 vem se difundindo e valorizando o conceito de “construção sustentável” e a aplicação de seus conceitos. Mesmo assim, o desperdício é considerável. Segundo Mancuso e Santos (2003), a reutilização de resíduos vem se consolidando cada vez mais como um instrumento de grande importância para a preservação e conservação dos recursos naturais. Entre algumas das alternativas existentes, está o reuso da água, que já possui tecnologia consagrada para a sua implantação.

O tratamento do efluente e seu reuso em unidades habitacionais, é importante para que se alcance o objetivo almejado: a sustentabilidade hídrica. É interessante salientar que existem diversas formas de tratar o efluente para que o mesmo se

torne próprio para reuso. O objetivo do tratamento de esgotos é a remoção dos sólidos, cargas orgânicas e organismos patogênicos, tendo eficiência relacionada com a efetiva remoção dos poluentes e contaminantes do mesmo.

O sistema de tratamento pode atender uma ou mais residências, sendo denominados uni ou multifamiliares, respectivamente, é usualmente classificado em preliminar, onde há remoção de sólidos em suspensão grosseiros; primário, onde ocorre a remoção de sólidos em suspensão sedimentáveis; secundário, com a remoção de matéria orgânica; e terciário, onde acontece a remoção de nutrientes, microrganismos patogênicos, compostos não biodegradáveis, metais pesados, entre outros.

Para tratamento de uma ou mais residências, em locais onde normalmente não se dispõe de rede coletora, é comum a utilização de tratamento através de tanques sépticos seguidos de sumidouro. A busca por novos sistemas que sejam mais eficientes, em situações desse tipo, é necessária visando atenuar impactos ao meio ambiente e facilitar o uso dos efluentes após tratamento ou não.

A segregação dos efluentes é uma ação facilitadora no processo de tratamento, visto que os métodos de tratamento para as águas negras e cinzas podem ser diferenciados, sendo estas as preferidas para reuso em atividades com fins não potáveis.

A caracterização dos efluentes segregados é importante para a escolha do grau de tratamento e para verificação da eficiência do sistema utilizado. Existem tratamentos físicos, químicos e biológicos, sendo estes últimos os mais viáveis para unidades residenciais unifamiliares.

O tratamento biológico anaeróbio possui vantagens como a sua fácil manutenção e operação, baixo custo de construção, pré-requisitos fundamentais principalmente para soluções individuais.

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo geral, para um sistema predial de coleta segregada de efluentes, verificar a possibilidade do uso das águas cinzas para irrigação de jardins, bem como avaliar a eficiência do sistema de tratamento biológico anaeróbio para residência unifamiliar (águas negras), além de estimar a economia hídrica do reuso, buscando subsidiar redução do consumo e sustentabilidade.

Sendo os objetivos específicos discriminados abaixo:

- Caracterizar os efluentes segregados;

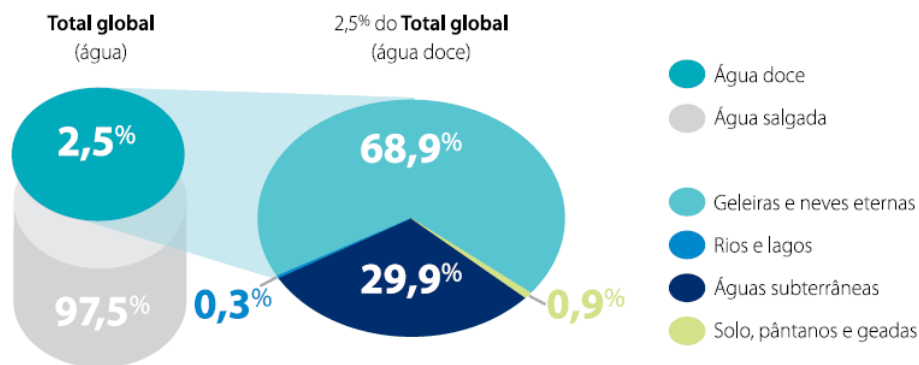
- 
- Verificar se a água cinza, mesmo sem tratamento, se enquadra nas legislações e normas vigentes para seu reuso na irrigação de jardins;
  - Estimar a economia do recurso hídrico, caso as águas cinzas sejam reutilizadas;
  - Verificar a eficiência do sistema de tratamento empregado nas águas negras;
  - Verificar a viabilidade do uso da casca de coco verde como meio suporte;
  - Operar e monitorar o sistema de tratamento;
  - Verificar a viabilidade econômica do sistema de segregação dos efluentes e de tratamento anaeróbico com reator de chicanas com meio suporte.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Recursos Hídricos

Segundo Braga *et al* (2005), há no mundo uma disponibilidade finita de água doce capaz de atender às necessidades de consumo da população, desse total de água existente no planeta Terra, apenas 0,5% representa água doce. Segundo o Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor (IDEC) (2002), essa perspectiva é ainda mais crítica, do total de água doce, apenas 0,3% é explorável (Figura 01

Figura 01 - Distribuição da massa de água no planeta.



Fonte: IDEC (2002).

Devido à má distribuição dos recursos hídricos no planeta e ao aumento crescente da demanda, observa-se que este recurso é cada vez mais escasso.

O Brasil, mesmo sendo detentor de cerca de 13,7% de toda a água doce superficial do planeta, tem 70% desse recurso na região amazônica, onde a densidade populacional é relativamente pequena em comparação com as outras regiões do país. Em contrapartida, as regiões Sudeste e Nordeste concentram a menor parcela de água e são responsáveis pelo abastecimento de mais de 70% da população brasileira (IDEC, 2002).

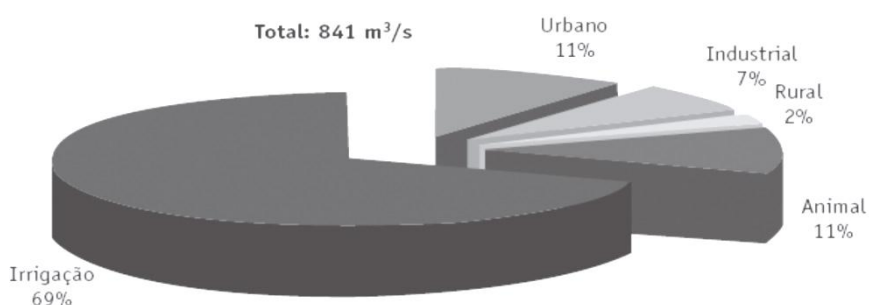
Algumas das principais causas da escassez da água são relacionadas por Gonçalves (2006):

- Urbanização elevada e desordenada da infra-estrutura urbana;
- Diversificação e intensificação das atividades e conseqüentemente do uso da água;
- Impermeabilização e erosão do solo;
- Ocupação de área de mananciais, com conseqüente poluição e assoreamento das margens;
- Deficiências do setor de saneamento e a relação entre água e saúde;
- Migrações populacionais motivadas pela escassez de água.

A água é uma substância essencial para a sobrevivência de todas as espécies de vida existentes no planeta Terra. O seu uso tem aumentado de forma espantosa nas últimas décadas, seja para os consumos humanos, industriais ou para os agrícolas, decorrentes do crescimento populacional. Devido a esse fato, passou a ser considerada como um bem econômico, conforme Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (1992) - Agenda 21.

A maior parte da água doce do mundo é consumida na agricultura, a qual é responsável pela utilização de aproximadamente 70% da mesma. O consumo doméstico está em segundo lugar com 23%. A indústria consome cerca de 7% da água (IDEC, 2002). No Brasil, esse consumo é semelhante ao mundial e pode-se notar isso ao observar a Figura 02 abaixo.

Figura 02 - Destinação do consumo de água no Brasil.



Fonte: Gonçalves (2009).

Estima-se que para cada 100 litros de água consumida gera-se cerca de 80 litros de esgoto doméstico no Brasil (FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE, 2006). Segundo Barreto (2008), no Brasil, em média, 24% do consumo total de

em residências destinadas a população de baixa renda é consumida nas descargas sanitárias, o que representa um grande incentivo para o reaproveitamento de águas residuais, pois, este uso não exige uma potabilidade da água (Tabela 01).

Tabela 01 - Quantificação do consumo doméstico de água.

Uso da água	Consumo diário por habitação (L/dia.habitação)	Consumo percentual (%)
Bacia sanitária com caixa acoplada (6L)	24	5
Chuveiro	238	55
Lavadora de roupas	48	11
Lavatório	36	8
Pia	80	18
Tanque	11	3
Consumo total	437	100

Fonte: Barreto (2008).

É necessário pensar formas de economizar e reaproveitar o recurso hídrico, tendo consciência o problema de escassez com o aumento cada vez maior da demanda, e também com a diminuição da qualidade, já que geralmente os esgotos são lançados nos corpos hídricos.

Logo, deve-se projetar construções que sejam capazes de minimizar cada vez mais seus impactos ao meio. Para isso, pode-se instalar nas habitações aparelhos e dispositivos sanitários economizadores de água como bacias sanitárias de volume reduzido de descarga, chuveiros e lavatórios de volumes fixos, arejadores, entre outros equipamentos economizadores.

Mas, o mais importante é a conscientização do usuário. Seriam necessárias intervenções educacionais que realmente despertassem e conduzissem a uma revolução comportamental com um posicionamento contra o desperdício.

## 2.2 Sustentabilidade

O modelo de desenvolvimento mundial existente na atualidade baseia-se em um crescente consumo de recursos naturais, com uma conseqüente degradação e poluição ambiental. O surgimento do conceito de desenvolvimento sustentável veio da percepção desse problema que possui escala global (MOTA ; AGUILAR, 2009

No fim da década de 60, em 1968, o Clube de Roma, reunião de intelectuais que procuravam fazer projeções para o futuro, publica *The limits of growth* (Os limites do crescimento). O estudo contrapõe o crescimento exponencial da população diante da finitude dos recursos do planeta, e conclui que isto provocaria uma crise sem precedentes na história humana.

A partir daí, deu-se início a conscientização e o entendimento de que os recursos naturais são finitos e que deve haver uma gestão dos mesmos para evitar sua escassez futura.

Em 1972, a Organização das Nações Unidas (ONU), realizou a *Conference on the Human Environment* (Conferência sobre o meio ambiente humano) em Estocolmo. Na conferência discutiram-se as responsabilidades dos países ricos, com o consumismo exagerado, e dos países pobres, com a explosão demográfica, na situação ambiental.

Em 1983, a ONU criou a Comissão Mundial sobre Ambiente e Desenvolvimento (WCED). Em 1987, o WCED publicou um relatório *Our Common Future* (Nosso Futuro Comum) também conhecido como relatório *Brundtland*, onde definiu o conceito de sustentabilidade sendo este o “desenvolvimento de acordo com as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazer suas próprias necessidades”.

Esse conceito procura conciliar a necessidade de desenvolvimento econômico da sociedade com a promoção do desenvolvimento social e com o respeito ao meio-ambiente, que é, atualmente, um tema indispensável na pauta de discussão das mais diversas organizações governamentais.

O relatório *Nosso Futuro Comum* chamou atenção sobre a necessidade de encontrar formas de desenvolvimento econômico que não precisassem causar a redução drástica dos recursos naturais ou danos ao meio ambiente. Conclui que o uso excessivo dos recursos naturais é um processo que vai provocar o colapso dos ecossistemas, e propõe que a busca de soluções seja tarefa comum a toda humanidade.

Definiu também, três princípios essenciais a serem cumpridos: desenvolvimento econômico, proteção ambiental e equidade social, sendo que para cumprir estas condições, seriam indispensáveis mudanças tecnológicas e sociais,



tornando um ciclo a questão do desenvolvimento sustentável. Segundo Mota e Aguilar (2009), a sustentabilidade é alcançada através de um modelo de desenvolvimento que procura o bem estar com o equilíbrio sociocultural, econômico e ambiental.

Como o conceito de desenvolvimento sustentável vem sendo amplamente difundido e utilizado, faz-se necessário a normatização de alguns parâmetros para poder aplicar na realidade a essência do mesmo. No Direito Ambiental Brasileiro encontramos normas jurídicas relacionadas com questões ambientais, o desenvolvimento sustentável é citado como direito de todos.

Entre os países pioneiros na implementação do conceito de desenvolvimento sustentável estão a Inglaterra, Alemanha e Holanda que, além de aplicarem programas governamentais incentivando práticas sustentáveis, possuem normatização bastante desenvolvida e influenciam fortemente outros países, na execução dessas medidas (TAVARES, 2010).

Seis em cada dez especialistas em sustentabilidade acreditam que o conceito tem influenciado de modo crescente as decisões de mercado em seus países. Essa é uma das conclusões extraídas da *Survey of Sustainability Experts* (Levantamento de Especialistas em Sustentabilidade), recente pesquisa feita pelo Instituto GlobeScan com 353 especialistas de países dos cinco continentes que integram a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) (VOLTOLINI, 2009).

Segundo a pesquisa supracitada, dos considerados “grandes problemas ambientais”, que podem impactar a economia, a questão das mudanças climáticas é apontada por 71% dos entrevistados e a escassez de água por 69%.

Tendo este tópico por base, percebemos que atualmente existe uma relação dualista entre a sociedade e a água; é almejado o acesso universal a este recurso natural, porém tem que ter um uso sustentável, pois sua escassez é um problema emergente.

A Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (1992) - Agenda 21 propõe uma série de ações para a promoção da sustentabilidade dos recursos hídricos. O Capítulo 18: "Proteção da Qualidade e do Abastecimento dos Recursos Hídricos: Aplicação de Critérios Integrados no Desenvolvimento,

Manejo e Uso dos Recursos Hídricos", apresenta programas voltados para este propósito.

Estes programas incentivam o reuso da água ao utilizar como estratégias a dessalinização da água, a reposição artificial de águas subterrâneas, o uso da água de pouca qualidade e aproveitamento de águas residuárias.

Percebe-se a urgência de implementar ações para a conservação da água na intenção de contribuir para a promoção da sustentabilidade dos recursos hídricos. Sendo assim, o uso de águas residuárias se torna cada vez mais importante para o aumento da demanda hídrica e a diminuição da poluição, ao atenuar a quantidade de resíduos lançados ao meio.

As construções devem ser dotadas de mecanismos que possam contribuir para a minimização de impactos ao ambiente, desde sua construção até seu uso final, como o aproveitamento de fontes alternativas de energia e águas para fins não potáveis.

### 2.2.1 Construções Sustentáveis

Devido ao alto índice de degradação ambiental, surge a necessidade do desenvolvimento de habitações ecologicamente corretas, dando ênfase ao uso de produtos de baixo impacto ambiental, associados a projetos de instalação de sistemas de reuso de águas, e a projetos de fontes alternativas de energia. O ato de projetar está intimamente ligado com a capacidade de se minimizar impactos ao ambiente.

No ambiente construído, aspectos como o uso da energia, da água e dos materiais, se inter-relacionam, e seu impacto sobre as gerações futuras deve ser uma preocupação em um projeto realmente sustentável (MACIEL *et al*, 2006).

A busca pelo desenvolvimento sustentável está cada vez mais presente nos setores da sociedade, como a construção civil. Segundo Tavares (2010), o conceito de "edifício inteligente", caracterizado pela tecnologia e eficiência energética, foi substituído pelo de "construção sustentável," caracterizado por menor impacto ambiental e menor dependência tecnológica.

A Construção Sustentável procura a interação entre o ser humano e o meio ambiente, provocando considerável diminuição na

degradação, através do uso de resíduos, materiais reciclados, matérias-primas renováveis, ou materiais sem componentes tóxicos, e tecnologias que não causem danos ao Meio Ambiente, tornando-se uma construção ecologicamente correta que busca sua auto-sustentabilidade (SILVA *et al.*, 2005, p. 2).

Esse conceito vem ganhando espaço no Brasil e provando que tem balanço positivo na conta de custo-benefício, ainda que encareça em cerca de 10% a obra, o retorno é superior a este percentual em termos de redução do consumo de água e energia e também da produtividade em caso de imóveis comerciais ou de escritórios.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente com o Plano de Ação para Produção e Consumo Sustentáveis (BRASIL, 2010), dentre as diretrizes para construções sustentáveis estão: análises de longo prazo no planejamento da obra, escolhas que promovam eficiência energética, uso racional de água e seu reaproveitamento, potencialização das condições naturais locais (ventilação, iluminação, calor), e uso de materiais e técnicas ambientalmente amigáveis.

Os sistemas prediais necessitam serem concebidos tanto para satisfazerem o habitante assim como para contribuir para a promoção da sustentabilidade do habitat. Neste cenário encontra-se o projetista, cuja missão é atender os anseios sociais e ambientais, em meio a emergentes avanços tecnológicos (SANTOS, 2002, p. 9).

O Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) e Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura (AsBEA), apresentam algumas práticas para sustentabilidade na construção<sup>1</sup>, sendo as principais:

- Aproveitar as condições naturais locais;
- Utilizar mínimo de terreno e integrar ao ambiente natural;
- Implantar e analisar o entorno;
- Não provocar ou reduzir impactos na paisagem;
- Qualidade ambiental interna e externa;
- Gerir sustentavelmente a implantação da obra;
- Adaptar às necessidades atuais e futuras dos usuários;
- Usar matérias-primas que contribuam com a eco-eficiência do processo;
- Reduzir o consumo energético;
- Reduzir o consumo de água;

---

<sup>1</sup> Fonte: < [www.asbea.org.br](http://www.asbea.org.br)>, acesso em 25/11/2010.

- Reduzir, reutilizar, reciclar e dispor corretamente os resíduos sólidos;
- Introduzir inovações tecnológicas sempre que possível e viável;
- Educação ambiental: conscientizar os envolvidos no processo.

Salienta-se a importância do processo projetual, onde pode ser previsto os meios mais eficientes para uma construção sustentável.

→ Certificações:

Existem sistemas de certificação, que avaliam o desempenho econômico, a gestão do uso da água, energias naturais, resíduos, poluição, gestão ambiental e qualidade do ambiente interno de uma edificação sustentável. As construções são certificadas se cumprirem os requisitos pré-estabelecidos. A escolha de materiais ambientalmente corretos, de origem certificada, é outro fator que agrega valor ao produto, ao contribuir para limitar a poluição e as emissões de gases e resíduos (TAVARES, 2010).

Em 1990 foi lançado na Inglaterra o primeiro sistema de avaliação ambiental de construções do mundo, o BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*). O sistema certifica a construção com um selo “verde” (MOTA ; AGUILAR, 2009).

Em 1999, o USBCG (*United States Green Building Council*) criou o selo de certificação LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*). O programa traz incentivos financeiros e econômicos para o mercado de construções verdes dos Estados Unidos.

Em 2002, a Agenda 21 (CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1992) para construção sustentável para países em desenvolvimento foi finalizada. Ainda nesse ano, a França lançou seu programa de certificação de construções ambientais, o HQE (*Haute Qualité Environnementale*). O Japão também lançou seu programa de certificação, o CASBEE (*Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency*).

Em 2004, a Austrália finalizou seu sistema de certificação de construções ambientais, o NABERS (*National Australian Built Environment Rating System*).

O Brasil está avançando em relação às certificações de construções sustentáveis. Em 2007 foi criado o *Green Building Council Brasil* (GBCBrasil), que

tem como objetivo ser referência na avaliação e certificação de construções sustentáveis, através da regionalização da ferramenta de avaliação LEED.

Ainda em 2007, foi criado o CBCS, cujo objetivo é implementar conceitos e práticas sustentáveis na construção civil, porém sem o objetivo de certificar edificações. Também em 2007 foi lançado o selo ecológico para produtos e tecnologias sustentáveis IDHEA-Falcão Bauer.

Em 2008 foi lançado o selo brasileiro de certificação ambiental AQUA (Alta Qualidade Ambiental), baseado na certificação francesa HQE. Foi o primeiro selo de certificação de construções sustentáveis que leva em consideração as especificidades do Brasil, desenvolvido pelo Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP).

Em 2009, a Caixa Econômica Federal lançou o programa Selo Casa Azul CAIXA, no qual incentiva o uso racional de recursos naturais na construção de empreendimentos habitacionais, a redução do custo de manutenção dos edifícios e das despesas mensais de seus usuários.

Uma alternativa para tornar uma construção sustentável, seria o aproveitamento das águas residuárias, tendo em vista os possíveis usos não potáveis na edificação.

→ Construções sustentáveis no mundo e no Brasil:

Em 2001 foi finalizada uma obra de referência em construções sustentáveis, o BedZED (*Beddington Zero Energy Development*), na Inglaterra (Figura 03). É um condomínio de 100 casas e escritórios que consome 10% da energia de uma urbanização convencional.

Foi projetado pela *Bill Dunster Architects*, tudo tem a intenção de minimizar o consumo e, por vezes, renovar aquilo que é usado. As principais características do BedZed estão descritas abaixo:

- Uso de placas fotovoltaicas para geração de energia;
- Mini-estação geradora de energia a base de lascas de madeira;
- 50% das águas são tratadas, purificadas e reutilizadas;
- Coberturas verdes;
- Postos de abastecimento para carros elétricos;
- Localização do projeto próxima a boa infra-estrutura de transportes;

- Iluminação bem aproveitada;
- Ventilação bem elaborada, evitando o uso de ar-condicionado;
- Uso de materiais reciclados, reaproveitados e de fontes próximas ao local;
- Equipamentos sanitários com baixo consumo de água;
- Eletrodomésticos ecológicos;
- Coleta de lixo reciclável.

Outros exemplos no mundo podem ser vistos nas Figuras 04 e 05.

Figura 03 - BedZED (Beddington Zero Energy Development) – Inglaterra.



Legenda: Condomínio de 100 casas e escritórios construídos sustentavelmente.  
Fonte: <<http://www.greenroofs.com/projects>>, acesso em 01/12/2010.

Figura 04 - Swiss e Tower - Londres, 2004.



Legenda: O edifício utiliza 50% menos energia que outros do mesmo tamanho.  
Fonte: <[www.maisprojeto.wordpress.com/projetosdeconstrucoessustentaveis](http://www.maisprojeto.wordpress.com/projetosdeconstrucoessustentaveis)>, acesso em 01/12/2010.

Figura 05 - The Green Building, África do Sul, 2003.



Legenda: Construído com blocos de concreto reciclado e madeira de áreas de reflorestamento.  
 Fonte: <[www.maisprojeto.wordpress.com/projetosdeconstrucoessustentaveis](http://www.maisprojeto.wordpress.com/projetosdeconstrucoessustentaveis)>, acesso em 01/12/2010.

No Brasil, existem vinte empreendimentos certificados LEED<sup>2</sup>, os mesmos estão descritos abaixo:

- |  |                |
|--|----------------|
| • Banco Real Agência Granja Viana              | Cotia - SP     |
| • Delboni Auriemo - Dumont Villares            | São Paulo      |
| • Morgan Stanley                               | São Paulo      |
| • Edifício Cidade Nova – Bracor (Figura 06)    | Rio de Janeiro |
| • Rochavera Corporate Towers - Torre B         | São Paulo      |
| • Eldorado Business Tower                      | São Paulo      |
| • Ventura Corporate Towers - Torre Leste       | Rio de Janeiro |
| • WTorre Nações Unidas 1 e 2                   | São Paulo      |
| • McDonalds - Riviera São Lourenço (Figura 07) | Bertioga       |
| • CD BOMI Matec                                | Itapevi        |
| • Pão de Açúcar                                | Indaiatuba     |
| • Torre Vargas 914                             | Rio de Janeiro |
| • Brasken                                      | São Paulo      |
| • Centro de Cultura Max Feffer                 | Pardinho       |
| • Fleury Medicina Diagnostica Rochavera        | São Paulo      |
| • Building the Future ( Boehringer Ingelheim ) | São Paulo      |
| • Unilever TI - Rochaverá                      | São Paulo      |
| • Sede GBC Brasil                              | Barueri        |

<sup>2</sup> Fonte:<<http://www.gbcbrasil.org.br/pt/certificacao>>, acesso em 01/12/2010.

- Pavilhão Vicky e Joseph Safra São Paulo
- Centro de Desenvolvimento Esportivo Osasco

O Edifício Cidade Nova, construído para a Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRAS), é o primeiro prédio sustentável certificado pelo LEED no estado do Rio de Janeiro. Com 52 mil metros quadrados de área construída, o empreendimento teve sua obra concluída em janeiro de 2008, segue as normas que diminuem o impacto sobre o meio ambiente, como captação e reuso de água, concepção de paisagismo e área verde proporcionais à edificação, controle de ar condicionado individual, descontaminação do solo, disponibilização de vagas especiais para veículos de baixa emissão de poluentes.

Em comparação com edifícios construídos de modo tradicional, o edifício Cidade Nova traz redução de consumo de energia, menos emissão de CO<sub>2</sub>,

Figura 06 - Edifício Cidade Nova – RJ.



Fonte: <[www.revistainfra.com.br](http://www.revistainfra.com.br)>, acesso em 01/12/2010.

Loja de *fast-food* em Riviera de São Lourenço é o primeiro restaurante da América Latina que reúne em sua construção e arquitetura tecnologias de baixo impacto com a adoção de fontes de energias renováveis, manejo sustentável da água e materiais de construção como bambu, madeira certificada e outros. Os arquitetos responsáveis são Luciana Martelo, Frank Siciliano e Marcelo Todescan<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Fonte: <<http://crismcdonaldriviera.blogspot.com>>, acesso em 01/12/2010.



Figura 07 - Comércio de *fast-food* em Riviera de São Lourenço.



Fonte: <<http://crismcdonaldriviera.blogspot.com>>, acesso em 01/12/2010.

Até janeiro do corrente ano, existiam duzentos e trinta e quatro empreendimentos em processo de certificação no Brasil<sup>4</sup>, comprovando o aumento de conscientização para um tema de total relevância como a construção sustentável.

Pode-se verificar nos exemplos supracitados, que um dos aspectos mais relevantes para uma edificação ser ambientalmente correta, é a conservação do recurso hídrico, seja ele através do reuso ou através do uso de aparelhos economizadores.

### **2.3 Reuso de Águas Residuárias**

Tomando-se por base os aspectos do aumento do consumo, a diminuição das reservas disponíveis e o crescente aumento da poluição dos recursos hídricos, vem à tona a questão do “reuso de águas residuárias”. A temática do reuso, tanto das águas pluviais como residuárias, vem sendo bastante discutida e difundida, sendo uma alternativa para o uso de água de finalidade não potável.

O reuso da água pode ser definido como a reutilização de águas residuárias empregadas em atividade humana, uma ou mais vezes, destinadas a outros fins (MOTA *et al*, 2007). Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA) (2005), é, assim, o uso de água residuária ou água de qualidade inferior tratada ou não.

A Resolução nº 54 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (BRASIL, 2005) define as modalidades de reuso: reuso para fins

---

<sup>4</sup> Fonte:< <http://www.gbcbrazil.org.br/pt/index>>, acesso em 15/12/2010.

para fins agrícolas e florestais; reuso para fins ambientais; reuso para fins industriais e reuso na aqüicultura.

Evitar o desperdício e fazer o uso racional da água está deixando de ser uma preocupação ambientalista e passa a ser também uma preocupação econômica, por esse motivo, empresas, organizações não-governamentais e especialistas no assunto estão investindo cada vez mais em pesquisas para descobrir formas de reaproveitar a água doce, economizando este recurso.

Quando se define a qualidade de um produto, entende-se que ele esteja dentro de um conceito normativo, aprovado para um determinado fim e seja capaz de satisfazer uma necessidade. De acordo com sua aplicação pode-se definir sua qualidade, ou seja, a condição de uso (TELLES ; COSTA, 2007).

O reuso da água em edificações é perfeitamente possível, desde que seja projetado para este fim, respeitando todas diretrizes a serem analisadas, evitando que a água reutilizada entre em contato com a água tratada e não permitir o uso da água reutilizada para fins potáveis.

As águas cinzas são as mais adequadas para reuso por sua baixa carga orgânica. O tratamento e desinfecção das mesmas são importantes para a utilização segura e esteticamente adequada da água de reuso. Tecnologias de tratamento de água cinza devem poder lidar com variações na concentração de orgânicos e patogênicos, para produzir um efluente de qualidade adequada e segura (GIDEON *et al*, 2008).

O conhecimento dos consumos específicos de água que ocorrem nos diversos pontos de utilização de uma residência é de fundamental importância para se saber onde devem ser priorizadas as ações de conservação do uso da água em edificações. Segundo Sperling (2005), o consumo de água em uma residência é influenciado por diversos fatores, tais como:

- Clima da região;
- Renda familiar;
- Número de habitantes da residência;
- Características culturais da comunidade;
- Desperdício domiciliar;
- Valor da tarifa de água;

- Estrutura e forma de gerenciamento do sistema de abastecimento.

O consumo de água residencial inclui tanto o uso interno quanto o uso externo às residências. As atividades de limpeza e higiene são as principais responsáveis pelo uso interno, enquanto que o externo deve-se à irrigação de jardins, lavagem de áreas externas, lavagem de veículos, piscinas, entre outros.

Em média, 40% do total de água consumida em uma residência são destinados aos usos não potáveis. Desta forma, estabelecendo uma rede dupla de abastecimento de água, uma potável e outra de reuso, a conservação da água, através da redução do consumo de água potável, seria garantida (GONÇALVES, 2006).

Ainda segundo Gonçalves (2006), os estudos de caracterização do consumo de água potável em residências brasileiras autorizam uma estimativa de economia de água variando entre 15 a 30%, caso se implemente o aproveitamento de fontes alternativas.

Como dito anteriormente, o capítulo 18 da Agenda 21 (CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1992) é dedicado à proteção dos recursos de água doce numa perspectiva integrada do uso e gestão, apela à implementação de reuso de águas residuárias, como instrumento de prevenção e controle da poluição.

Os esgotos domésticos e certos efluentes industriais apresentam dentre seus componentes diversos elementos classificados como nutrientes necessários ao desenvolvimento de plantas. Esses elementos, quando lançados sem controle no meio ambiente, são a causa de impactos negativos de grande relevância aos recursos hídricos e ao solo. No entanto, quando reutilizados, podem favorecer a natureza pela eliminação de poluentes e pela economia que propiciam na redução da extração de matérias-primas da natureza.

O reuso da água cinza é a melhor opção atualmente por sua baixa concentração de matéria orgânica. Consta efetivamente de uma medida de peso na ação da economia de água e que, por consequência, contribui para a busca da sustentabilidade hídrica (SANTOS, 2002). É bastante eficiente na prática do reuso, visto que, as mesmas apresentam alto volume, baixa concentração de nutrientes e matéria orgânica de fácil degradação (COHIM, 2007). Áreas

potenciais para reuso de águas cinzas são irrigação de campos de golfe e parques, bem como a fertilização de culturas (OTTOSON ; STENSTR, 2002).

O gerenciamento racional das águas residuárias pode resultar em significativa economia de água potável nas residências, redução da eutrofização de corpos de água, além de propiciar a reciclagem de importantes quantidades de nutrientes como nitrogênio, fósforo, entre outros, para a agricultura, substituindo os fertilizantes químicos e minimizando a poluição (REBOUÇAS *et al*, 2007).

### 2.3.1 Reuso na irrigação

A manutenção de áreas verdes, públicas ou particulares, contribui para o aumento da demanda hídrica urbana, devido aos requerimentos de irrigação. As águas residuárias servem, após o tratamento adequado, para muitos usos não potáveis, como lavagem de automóveis, água para descarga na bacia sanitária, água para ajardinamento e irrigação e lavagem de áreas comuns em edifícios.

O uso dos efluentes de tratamento de esgoto como fonte d'água e nutrientes na agricultura (via irrigação) tem sido, em diversos locais, uma alternativa viável para a disposição das águas residuárias no ambiente (FONSECA *et al*, 2007).

A maior parte da água doce do mundo é consumida na agricultura. O consumo doméstico está em segundo lugar e tem aumentado durante a última década numa média de 4% por ano (GONÇALVES, 2006).

Aproveitar o fósforo proveniente dos esgotos doméstico para fins agrícolas é uma excelente oportunidade de minimização da poluição dos rios através da irrigação com efluentes em substituição aos fertilizantes comerciais (ALMEIDA, 2007). O reuso de água para irrigação é o tipo mais utilizado de reaproveitamento do recurso hídrico.

Quando aplicado no solo, o esgoto bruto ou tratado sofre autodepuração, através de processos físicos, químicos e biológicos, que reduzem sua carga poluidora.

Existem efeitos negativos como na ausência de lixiviação e na presença de evapotranspiração excessiva, a irrigação pode promover o acúmulo de sais na zona

radicular, o que pode comprometer o desenvolvimento das plantas (CERQUEIRA *et al*, 2008).

Porém há vantagens como:

- Possibilidade de substituição parcial de fertilizantes químicos;
- Diminuição do impacto ambiental;
- Economia em quantidade de água direcionada em grandes volumes para a irrigação, que representa a maior demanda de água.

Desde que realizada de forma controlada, a irrigação com esgotos sanitários tratados é altamente atrativa, pois além de possibilitar a liberação de recursos hídricos de melhor qualidade para outras atividades humanas, serve como uma forma de pós-tratamento dos efluentes pelo sistema solo-planta (GONÇALVES, 2003). O sistema solo-planta, se adequadamente gerenciados, incentiva a retenção dos componentes do efluente (FONSECA *et al*, 2007).

A qualidade da água de irrigação é fator primordial a ser considerado na produtividade das culturas, assim como na preservação da qualidade do solo e do aquífero subterrâneo. Fatores como condições climáticas, características físicas e químicas do solo, tolerância da cultura à salinidade, manejo do cultivo e método de irrigação precisam ser observados no dimensionamento de projetos de reuso da água (GONÇALVES, 2003).

A ação do solo no processo de tratamento para resíduos, como ocorre na autodepuração dos corpos d'água e nos demais tipos de tratamento, compreende processos físicos, químicos e biológicos de remoção da carga poluente. Esses processos se iniciam imediatamente a partir do lançamento ao solo e prosseguem durante a percolação do resíduo (GONÇALVES, 2003).

Segundo Chernicharo (2001), a disposição controlada no solo permite que o efluente percolado subsuperficialmente no terreno sofra tratamento no interior do solo, fazendo-o se comportar como camada filtrante. Isso possibilita ações de adsorção e atividades dos microrganismos, os quais usam a matéria orgânica contida nos despejos como alimento, convertendo-a em matéria mineralizada (nutrientes) que fica à disposição da vegetação. Essa técnica de disposição no solo também é eficiente na remoção de patogênicos e constitui uma atividade essencialmente de reciclagem do solo e da água.

Porém, para que seja possível o reuso de efluentes na irrigação, tanto de culturas como de jardins, é necessário o desenvolvimento de normas e legislações que sejam diretrizes na execução de projetos que contemplem o reuso de águas residuárias e que sirvam de guia na verificação do controle de qualidade.

## **2.4 Legislação e Normas para Reuso**

A existência de leis e normas é de fundamental importância para o possível uso de efluentes tratados, servindo como diretrizes e determinando parâmetros a serem seguidos. Atualmente, os países desenvolvidos encontram-se mais avançados quanto a esse respeito, porém, o Brasil vem estimulando a prática de reuso e seu estudo no país.

A reutilização da água é considerada uma componente estratégica da conservação dos recursos hídricos pela mais alta instância mundial – a ONU e a União Européia (UE) (MONTE; ALBUQUERQUE, 2010). As legislações e recomendações da Flórida, Califórnia, OMS e Austrália são as mais conhecidas em relação às definições dos parâmetros para reuso. Contudo, os valores apresentados se mostram bastante restritivos, fazendo com que o seu atendimento onere a prática do reuso, representando uma barreira para a difusão desta prática (ALMEIDA, 2007).

Tornam-se necessários estudos que mostrem os reais parâmetros a serem adotados para cada tipo de reuso, fazendo com que esta prática possa ser adotada. Baseando-se em resultados mais realísticos do que os índices atuais divulgados, levando em consideração, principalmente, a questão da saúde pública.

Na Tabela 02 encontram-se as principais recomendações para reuso de águas residuárias a nível mundial. Em seguida, apresentam-se extratos das principais normas, legislações e diretrizes que norteiam ou estimulam o reuso de efluentes a nível internacional, nacional e estadual.

Tabela 02 - Parâmetros para reuso de águas residuárias para específicos usos.

<b>Instituição</b>	<b>Tipo de Reuso</b>	<b>Diretrizes</b>
OMS	Irrigação parques públicos	Coliformes termotolerantes: < 1000/100 mL
USEPA	Reuso urbano	pH: entre 6 e 9 DBO: < 10 mg/L Turbidez: < 2 NTU Coliformes termotolerantes: não detectável em 100 mL Cloro residual ≥ 1 mg/L

Fonte: Adaptado USEPA - *United States Environmental Protection Agency* (2004), OMS (2000).

#### 2.4.1 Agenda 21 (CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1992)

A Agenda 21 (CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1992) é o documento mais importante para o desenvolvimento sustentável mundial, em seus 40 capítulos diz o que e como fazer para se alcançar a sustentabilidade.

Em seu capítulo 18 intitulado “proteção da qualidade e do abastecimento dos recursos hídricos: aplicação de critérios integrados no desenvolvimento, manejo e uso dos recursos hídricos”, objetiva assegurar que se mantenha uma oferta adequada de água de boa qualidade para toda a população do planeta, ao mesmo tempo em que se preserve as funções hidrológicas, biológicas e químicas dos ecossistemas, adaptando as atividades humanas aos limites da capacidade da natureza e combatendo vetores de moléstias relacionadas com a água.

A Agenda 21 (CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1992) apresenta ainda, como maneira de se alcançar tal objetivo, formas de desenvolvimento de fontes novas e alternativas de abastecimento de água, tais como dessalinização da água do mar, reposição artificial de águas subterrâneas, uso de água de pouca qualidade, aproveitamento de águas residuais e reciclagem da água.

#### 2.4.2 Lei Nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997 (BRASIL, 1997)

No Brasil a Lei 9.433 de janeiro de 1997 (BRASIL, 1997), institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. E em seus diversos artigos são definidos os objetivos e os meios de alcançá-los.

Em seus Art. 1º e Art. 2º, a referida lei baseia seus fundamentos e objetivos, abrangendo questões de racionalidade no uso da água e sustentabilidade, favorecendo ao reuso como forma de alcançar tais objetivos.

O Art. 5º define os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, entre eles está o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água, o qual determinará a possibilidade ou não do lançamento de efluentes no mesmo.

No Art. 7º, onde consta os quesitos mínimos para a elaboração dos Planos de Recursos Hídricos, a definição de metas de racionalização de uso, aumento da quantidade e melhoria da qualidade dos recursos hídricos disponíveis, está exposta como parte de sua elaboração.

Logo, a referida lei, dá indícios ao reuso ao tratar de questões como sustentabilidade e qualidade/quantidade dos recursos hídricos, além de exigir outorga com cobrança para lançamento de efluentes (tratados ou não) em corpos hídricos.

#### 2.4.3 Lei Nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007 (BRASIL, 2007)

Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Para os efeitos desta Lei, considera-se que saneamento básico é o conjunto de serviços, infra-estruturas e instalações operacionais de:

- Abastecimento de água potável;
- Esgotamento sanitário: constituído pelas atividades, infra-estruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até o seu lançamento final no meio ambiente;
- Limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos;



- Drenagem e manejo das águas pluviais urbanas.

O Art. 2º diz que os serviços públicos de saneamento básico serão prestados com base em princípios fundamentais, abaixo citados os mais relevantes para o esgotamento sanitário:

- Abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos realizados de formas adequadas à saúde pública e à proteção do meio ambiente;
- Adoção de métodos, técnicas e processos que considerem as peculiaridades locais e regionais;
- Integração das infra-estruturas e serviços com a gestão eficiente dos recursos hídricos.

Em seu Art. 5º afirma que não constitui serviço público a ação de saneamento executada por meio de soluções individuais, desde que o usuário não dependa de terceiros para operar os serviços, bem como as ações e serviços de saneamento básico de responsabilidade privada, incluindo o manejo de resíduos de responsabilidade do gerador.

O Art. 45, § 1º, destaca que na ausência de redes públicas de saneamento básico, serão admitidas soluções individuais de abastecimento de água e de afastamento e destinação final dos esgotos sanitários, observadas as normas editadas pela entidade reguladora e pelos órgãos responsáveis pelas políticas ambiental, sanitária e de recursos hídricos.

Sendo assim, entende-se que a implantação de sistemas de tratamento individuais é de responsabilidade do empreendedor imobiliário e do proprietário da unidade habitacional e será permitido quando não houver rede coletora de esgoto.

Quando houver rede coletora de esgoto e o proprietário almejar realizar o tratamento do mesmo com o intuito do reuso, será permitido que não se faça a ligação na rede mediante autorização do órgão competente.

#### 2.4.4 Lei Nº 4.548, de 21 de novembro de 1996 (CÂMARA MUNICIPAL DE MACEIÓ, 1994)

A Lei Nº 4.548 (CÂMARA MUNICIPAL DE MACEIÓ, 1994) que Instituiu o Código Municipal de Meio Ambiente de Maceió dispõe sobre a administração do uso dos recursos ambientais, da proteção da qualidade do meio ambiente, do controle das fontes poluidoras e da ordenação do uso do solo do território do Município de Maceió, de forma a garantir o desenvolvimento sustentável.

A Política Municipal de Meio Ambiente é orientada pelos seguintes princípios:

- A promoção do desenvolvimento sustentável, compatibilizando o desenvolvimento econômico e social com a proteção ambiental, a qualidade de vida e o uso racional dos recursos ambientais, em benefício das presentes e futuras gerações;
- A preservação, conservação, defesa, melhoria, recuperação e controle do meio ambiente, bem de uso comum do povo;

Art. 5º - O meio ambiente é bem de uso comum do povo e de interesse comum a todos.

Art. 6º - Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, que permita a evolução e o desenvolvimento do homem e dos outros seres vivos.

Art. 8º - Quem causar degradação ambiental será por ela responsabilizado administrativamente, sem prejuízo da responsabilidade civil e penal prevista na legislação federal e estadual.

Art. 9º - A Prefeitura Municipal de Maceió norteará suas ações em busca do desenvolvimento sustentável, que possibilita a gestão do desenvolvimento, da utilização e da proteção dos recursos ambientais segundo os padrões federais e estaduais e, na sua falta, os aceitos internacionalmente, e em ritmo que permitam a população presente, assegurar seu bem-estar social, econômico e cultural, sua saúde e sua segurança, de forma a:

- Manter a qualidade e o potencial dos recursos ambientais nos limites que permitam satisfazer as necessidades das gerações futuras;

- Proteger a função de sustento vital do ar, da água, do solo e dos ecossistemas naturais e artificiais;
- Evitar, atenuar ou minimizar todo efeito prejudicial das atividades que afetem o meio ambiente.

#### 2.4.5 Lei Nº 5.965, de 10 de novembro de 1997 (ALAGOAS, 1997)

Dispõe sobre a política estadual de recursos hídricos de Alagoas. Institui o sistema estadual de gerenciamento integrado de recursos hídricos e dá outras providências.

É bem semelhante a lei nacional 9.433 (BRASIL, 1997), porém abrange questões mais específicas do Estado de Alagoas. Um de seus fundamentos estabelece sistemas de irrigação harmonizados com a conservação do solo e da água.

#### 2.4.6 Decreto de 22 de março de 2005 (BRASIL, 2005)

Institui a Década Brasileira da Água, a qual foi iniciada em 22 de março de 2005. Considerando ser o Brasil detentor de reservas de água doce, de relevância estratégica no cenário internacional, partilhando das diretrizes de proteção de gerenciamento e uso sustentável dos recursos hídricos, como Estado-Membro das Nações Unidas.

Em seu Art. 2º. define seus objetivos:

- Promover e intensificar a formulação e implementação de políticas, programas e projetos relativos ao gerenciamento e uso sustentável da água, em todos os níveis,
- Assegurar a ampla participação e cooperação das comunidades voltadas ao alcance dos objetivos contemplados na Política Nacional de Recursos Hídricos ou estabelecidos em convenções, acordos e resoluções, a que o Brasil tenha aderido.

#### 2.4.7 Resolução do CONAMA nº 54, de 28 de novembro de 2005 (BRASIL, 2005)

Essa resolução é a primeira a tratar explicitamente sobre a questão do reuso no Brasil, apesar de ser bastante sucinta, se caracteriza como um marco inicial de legalização do reuso de efluentes, tratados ou não.

A referida resolução estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais que regulamentam e estimulam a prática de reuso direto não potável de água em todo o território nacional.

Adota as seguintes definições:

- Água residuária: esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não;
- Reuso de água: utilização de água residuária;
- Água de reuso: água residuária, que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas;
- Reuso direto de água: uso planejado de água de reuso, conduzida ao local de utilização, sem lançamento ou diluição prévia em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos;
- Produtor de água de reuso: pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, que produz água de reuso;
- Distribuidor de água de reuso: pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, que distribui água de reuso; e
- Usuário de água de reuso: pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, que utiliza água de reuso.

Em seu Art. 3º define as modalidades de reuso direto não potável de água:

- Reuso para fins urbanos: utilização de água de reuso para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, combate a incêndio, dentro da área urbana;
- Reuso para fins agrícolas e florestais: aplicação de água de reuso para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas;

- Reuso para fins ambientais: utilização de água de reuso para implantação de projetos de recuperação do meio ambiente;
- Reuso para fins industriais: utilização de água de reuso em processos, atividades e operações industriais; e,
- Reuso na aquicultura: utilização de água de reuso para a criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos.

Os órgãos integrantes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos-SINGREH, no âmbito de suas respectivas competências, deverão avaliar os efeitos sobre os corpos hídricos decorrentes da prática do reuso, devendo estabelecer instrumentos regulatórios e de incentivo para as diversas modalidades de reuso.

Os Planos de Recursos Hídricos deverão contemplar, entre os estudos e alternativas, a utilização de águas de reuso e seus efeitos sobre a disponibilidade hídrica.

Os Sistemas de Informações sobre Recursos Hídricos deverão incorporar, organizar e tornar disponíveis as informações sobre as práticas de reuso necessárias para o gerenciamento dos recursos hídricos.

Os Comitês de Bacia Hidrográfica deverão:

- Considerar, na proposição dos mecanismos de cobrança e aplicação dos recursos da cobrança, a criação de incentivos para a prática de reuso; e
- Integrar, no âmbito do Plano de Recursos Hídricos da Bacia, a prática de reuso com as ações de saneamento ambiental e de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica.

A atividade de reuso de água deverá ser informada, quando requerida, ao órgão gestor de recursos hídricos, para fins de cadastro, devendo contemplar, no mínimo, a identificação do produtor, distribuidor ou usuário; a localização geográfica da origem e destinação da água de reuso; a especificação da finalidade da produção e do reuso de água; e a vazão e volume diário de água de reuso produzida, distribuída ou utilizada.

#### 2.4.8 Resolução do CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL,2005)

Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento.

Também estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

O Art. 24 diz que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água, após o devido tratamento e desde que obedeçam as condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis.

Art. 30, no controle das condições de lançamento é vedada, para fins de diluição antes do seu lançamento, a mistura de efluentes com águas de melhor qualidade, tais como as águas de abastecimento, do mar e de sistemas abertos de refrigeração sem recirculação.

Art. 32, nas águas de classe especial é vedado o lançamento de efluentes ou disposição de resíduos domésticos, agropecuários, de aquicultura, industriais e de quaisquer outras fontes poluentes, mesmo que tratados.

Nas demais classes de água, o lançamento de efluentes deverá, simultaneamente:

- Atender as condições e padrões de lançamento de efluentes;
- Não ocasionar a ultrapassagem das condições e padrões de qualidade de água, estabelecidos para as respectivas classes, nas condições da vazão de referência;
- Atender a outras exigências aplicáveis.

Segundo a referida Resolução CONAMA, existem as seguintes condições de lançamento de efluentes :

- pH entre 5 a 9;
- Temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não devesa exceder a 3°C no limite da zona de mistura, desde que não comprometa os usos previstos para o corpo d'água – CONAMA 397 (BRASIL, 2008);

- Materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;
- Regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vezes a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitidos pela autoridade competente;
- Óleos e graxas:
  - 1 - óleos minerais: até 20 mg/L;
  - 2- óleos vegetais e gorduras animais: até 50 mg/L; e
- Ausência de materiais flutuantes.

#### 2.4.9 NBR 13.969 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997)

Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação

Primeira norma brasileira a explicitar sobre questões de reuso, abrangendo desde o tratamento até o treinamento dos operadores do sistema.

A referida norma define como reuso local de efluente tratado a utilização no próprio lugar de geração do esgoto para diversas finalidades, exceto para o consumo humano. No caso do esgoto de origem essencialmente doméstica ou com características similares, devidamente tratados, poderá ser reutilizado para fins que exigem qualidade de água não potável, mas sanitariamente segura, tais como irrigação dos jardins, lavagem dos pisos e dos veículos automotivos, na descarga dos vasos sanitários, na manutenção paisagística dos lagos e canais com água, na irrigação dos campos agrícolas e pastagens.

O reuso local de esgoto deve ser planejado de modo a permitir seu uso seguro e racional para minimizar o custo de implantação do sistema de tratamento e da rede de reuso; e de operação. Para tanto, devem ser definidos:

- a) os usos previstos para esgoto tratado;
- b) volume de esgoto a ser reutilizado;
- c) grau de tratamento necessário;

- d) sistema de reservação e de distribuição;
- e) manual de operação e treinamento dos responsáveis.

Não deve ser permitido o uso, mesmo desinfetado, para irrigação das hortaliças e frutas de ramas rastejantes (por exemplo, melão e melancia). Admite-se reuso para plantações de milho, arroz, trigo, café e algumas árvores frutíferas, via escoamento no solo, tomando-se o cuidado de interromper a irrigação pelo menos 10 dias antes da colheita.

Em termos gerais, a referida norma define os seguintes valores de parâmetros para esgotos, para o reuso em irrigações de jardim, lavagens de pisos e calçadas:

- Turbidez inferior a cinco;
- Coliforme fecal inferior a 500 NMP/100 mL;
- Cloro residual superior a 0,5 mg/L.

Todos os processos de tratamento e disposição final de esgotos devem ser submetidos à avaliação periódica de desempenho, tanto para determinar o impacto ambiental causado pelo sistema de tratamento implantado como para avaliação da eficiência do sistema.

A amostragem do afluente e do efluente do sistema local de tratamento deve ser feita, com frequência pelo menos trimestral, exceto na fase inicial de operação, quando deve haver acompanhamento pelo menos quinzenal até entrar em regime estável.

Percebe-se que não há uma legislação que indique concretamente os parâmetros a serem adotados para cada tipo de reuso, dessa forma foram utilizadas as diretrizes existentes supracitadas para a avaliação das águas cinzas, negras e do sistema de tratamento anaeróbio – RACH.

## **2.5 Esgotos domésticos**

A água é utilizada em todos os segmentos da sociedade e está presente no uso doméstico, comercial, industrial e agrícola. O seu uso gera uma grande quantidade de efluente que deve ser descartado de forma segura a fim de proteger a saúde da população e evitar a poluição do meio ambiente.



Segundo a NBR 9648 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1986), o esgoto doméstico é o despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas. Eles provêm principalmente de residências, edifícios comerciais ou quaisquer edificações que contenham dispositivos de utilização de águas para fins domésticos. Compõe essencialmente a água de banho, urina, fezes, restos de comida, detergentes e águas de lavagem.

É gerado a partir da água de abastecimento e, portanto, sua medida resulta da quantidade de água consumida. São constituídos, aproximadamente, de 99,9% de líquido e 0,1% de sólido. O líquido serve apenas como transporte das impurezas eliminadas pelo homem diariamente. A poluição é causada pelos sólidos que são carregados pela água, por isso é de fundamental importância o conhecimento das suas características qualitativas e quantitativas para seu tratamento. Na Tabela 03, encontram-se as principais características do esgoto doméstico.

Abaixo está descrita a composição do esgoto doméstico segundo Nuvolari (2003):

- Sabões e detergentes biodegradáveis e não biodegradáveis (a maioria dos detergentes contém o nutriente fósforo);
- Cloreto de sódio (7 a 15 g/hab/dia, eliminado através da urina);
- Fosfatos (1,5 g/hab/dia, eliminado através da urina);
- Sulfatos;
- Carbonatos;
- Uréia, amoníaco e ácido úrico (14 a 42 g/hab/dia);
- Gorduras;
- Ligamentos da carne e fibras vegetais não digeridas;
- Mucos, células de descamação epitelial;
- Vermes, bactérias, vírus, leveduras, entre outros;
- Areia, plásticos, cabelos, sementes, entre outros.

Para sua caracterização são utilizados parâmetros físico-químicos e biológicos, os quais vão indicar como deve ser realizado o tratamento do mesmo. Segundo Telles e Costa (2007), a carga orgânica no esgoto pode favorecer o aumento das colônias de microrganismos decompositores e conseqüentemente diminuir o nível de oxigênio dissolvido do meio.

A presença de nutrientes no esgoto sanitário pode constituir um problema nem sempre de fácil solução, uma vez que é necessário atender as exigências do CONAMA para lançamentos em corpos d'água. Por outro lado, os nutrientes podem significar uma vantagem substancial para o reuso de água, especialmente em irrigação e piscicultura, pois são insumos necessários para o cultivo de plantas e de animais aquáticos. Os principais nutrientes de interesse são o nitrogênio e o fósforo, os quais se apresentam, no meio aquático, sob diferentes formas (MOTA ; SPERLING, 2009).

Tabela 03 - Principais características físicas, químicas e biológicas do esgoto doméstico.

<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS</b>	
<b>Parâmetro</b>	<b>Descrição</b>
Temperatura	Ligeiramente superior a da água de abastecimento; Influência na atividade microbiana; Influência na velocidade das reações químicas.
Cor	Esgoto fresco - Ligeiramente cinza; Esgoto séptico - Cinza escuro ou preto.
Turbidez	Causada por uma grande variedade de sólidos em suspensão.
<b>CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS</b>	
Sólidos Totais	Orgânicos e inorgânicos.
Em suspensão	Fração retida em filtros de papel (0,45 a 2,0 µm).
Dissolvidos	Fração não retida em filtros de papel.
Sedimentáveis	Fração que sedimenta em 1 hora no cone Imhoff.
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio	É uma medida do oxigênio consumido após 5 dias pelos microrganismos na oxidação bioquímica da matéria orgânica.
DQO – Demanda Química de Oxigênio	Quantidade de oxigênio requerida para estabilizar quimicamente a matéria orgânica carbonácea.
Nitrogênio Amoniacal	Produzido como primeiro estágio da decomposição do nitrogênio orgânico
Fósforo	É um nutriente indispensável no tratamento biológico
pH	Indicador das características ácidas ou básicas do esgoto
Alcalinidade	Indicador da capacidade tampão do meio
Cloretos	Provenientes da água de abastecimento e dos dejetos humanos
<b>CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS</b>	
Microrganismos Patogênicos	Bactérias; Vírus; Protozoários; Helmintos

Fonte: Adaptado Sperling (2005).

Os esgotos contêm ainda, inúmeros organismos vivos, tais como bactérias, vírus, entre outros. Alguns são de suma importância no tratamento das águas residuárias, outros são organismos patogênicos causadores de doenças. O reuso é uma forma de diminuir a falta de saneamento, já que, geralmente, deve-se haver um sistema de tratamento para possibilitar o aproveitamento das águas residuárias.

A oferta de saneamento básico é fundamental em termos de qualidade de vida, pois sua ausência acarreta poluição dos recursos hídricos, trazendo prejuízo à saúde da população, principalmente o aumento da mortalidade infantil. Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento (PNSB) (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA, 2008), pouco mais da metade dos municípios brasileiros (55,2%) possuem serviço de esgotamento sanitário por rede coletora, que é o sistema apropriado.

Sendo assim, 18% da população brasileira está exposta ao risco de contrair doenças em decorrência da inexistência de rede coletora de esgoto. O Nordeste é a região onde a falta de rede coletora de esgotamento sanitário é mais grave, atingindo algo próximo a 15,3 milhões de habitantes (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA, 2008).

Ainda segundo o PNSB (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA, 2008), a principal solução alternativa adotada, para suprir a inexistência desse serviço foi a construção de fossas sépticas. Esse tipo de solução, ainda que longe do desejável, implicou na redução do lançamento dos dejetos em valas a céu aberto, fossas secas e em corpos d'água, o que ameniza os impactos ambientais decorrentes da falta de rede coletora de esgoto.

É de fundamental importância não só a coleta do efluente bruto, mas também o seu tratamento, melhorando assim as condições de saúde pública e minimizando os impactos causados ao meio ambiente.

O tratamento adequado de esgoto, seja para a obtenção de efluentes que atendam aos padrões de lançamento do corpo receptor, seja para a sua utilização produtiva, representa solução para os problemas de poluição da água e de escassez de recursos hídricos, contribuindo para a proteção ambiental e para a geração de alimentos e de outros produtos (MOTA; SPERLING, 2009).

O interesse na segregação e reaproveitamento de diferentes efluentes (águas cinzas, negras e pluviais), tem aumentado nos últimos anos, principalmente devido a aspectos econômicos e ecológicos (OTTOSON; STENSTR, 2002). Também é uma maneira de facilitar o tratamento, pois assim torna-se mais viável o reuso das águas cinzas (baixa matéria orgânica) e melhora as condições de tratamento das águas negras (elevada matéria orgânica).

### 2.5.1 Águas Cinzas

As águas cinzas são aquelas provenientes dos lavatórios, chuveiros, tanques e máquinas de lavar roupa e louça. Porém, quanto a este conceito, observa-se que ainda não há consenso internacional (FIORI *et al*, 2006).

Segundo Gonçalves (2006), alguns autores não consideram como água cinza, mas sim como água negra a água residuária de cozinhas, devido às elevadas concentrações de matéria orgânica e de óleos e gorduras nelas presentes. Este foi o conceito adotado no presente trabalho.

Segundo Friedler *et al* (2005), países industrializados possuem uma demanda de água para usos urbanos de aproximadamente 30 a 60% do total de água requerido. Sendo assim, há um consumo entre 100 e 150 L/hab/dia. Deste volume cerca de 60 a 70% é transformado em águas cinzas.

No Brasil o consumo médio per capita de água em 2006 foi de 145,1 L/hab/dia, maior que em 2003, que foi igual a 142,6 L/hab/dia (GONÇALVES, 2009). Logo, há uma grande geração de águas cinzas. Em termos de reuso dentro da habitação, destaca-se o reuso desse tipo de água.

O volume gerado deste efluente pode variar de um local para outro. Ainda segundo Gonçalves (2009), considerando apenas os volumes produzidos pelo lavatório e pelo chuveiro tem-se 64% do consumo de água potável, obtendo-se um volume da ordem de 92,9 L/hab/dia de águas cinzas.

O reuso de água requer medidas efetivas de proteção à saúde pública e ao meio ambiente, e ambas devem ser técnica e economicamente viáveis. Embora a água cinza não possua contribuição dos vasos sanitários, de onde provém a maior parte dos microrganismos patogênicos, a limpeza das mãos após o uso do toalete,

lavagem de roupas ou o próprio banho são possíveis fontes de contaminação e inserção de risco no seu reuso (GONCALVES, 2006).

Microrganismos tais como vírus patogênicos, bactérias, protozoários e helmintos podem ser introduzidos em efluentes secundários pelo banho de bebês e crianças pequenas com a troca e lavagem de fraldas (ALMEIDA, 2007).

De um modo geral, pode-se encontrar nos efluentes domésticos um número variável de microrganismos. Em se tratando da água cinza, estudos têm mostrado as presenças de coliformes fecais e totais. As concentrações destes agentes podem variar em função da origem desta água e da presença ou ausência de animais e de crianças (ZABROCKI; SANTOS, 2005).

A qualidade da água cinza vai depender das diversas atividades domésticas realizadas, sendo que os componentes presentes variam de residência a residência, onde o estilo de vida, costumes, instalações e a quantidade de produtos químicos utilizados irão influenciar.

Para parâmetros como turbidez, por exemplo, a faixa de concentração reportada na literatura é ampla, variando de 37 a 328 Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT). Em termos de matéria orgânica carbonácea, expressa indiretamente como DQO e DBO<sub>5</sub>, encontra-se faixa de valores de concentração variando de 352 a 673 mg/L e 96 a 324 mg/L, respectivamente reportadas por Fiori *et al* (2006); Santos e Zabrocki (2003); Nirenberg e Reis (2010).

Outros fatores que podem contribuir para as características da água cinza são a qualidade da água de abastecimento e o tipo de rede de distribuição tanto da água de abastecimento quanto da água de reuso.

A utilização de água cinza bruta em descargas sanitárias ou na irrigação de jardins é uma prática vigente em alguns países, apesar do aspecto relativamente desagradável da água de reuso (GONÇALVES, 2006).

Uma ampla variedade de tecnologias têm sido utilizadas ou estão sendo desenvolvidas para o seu tratamento, compreendendo sistemas naturais, processos químicos, físicos, físico-químicos e biológicos.

A água cinza tratada junto à fonte geradora para uso no próprio local apresenta grandes vantagens do ponto de vista energético ao evitar longos transportes para condução a uma unidade de tratamento para posterior retorno aos

pontos de consumo. Por isso é interessante a possibilidade de um sistema de tratamento de fácil operação e manutenção, o qual o usuário possa fazê-lo sem grandes dificuldades e custos.

### 2.5.2 Águas Negras

No início do século passado, a utilização de excretas humanas como fertilizante era prática comum em quase todas as culturas e sociedades. Ainda hoje, em alguns países e regiões, especialmente nos mais pobres, a população ainda recorre a esta prática.

Água negra é o efluente proveniente dos vasos sanitários, contendo basicamente fezes, urina e papel higiênico ou proveniente de dispositivos separadores de fezes e urina, tendo em sua composição grandes quantidades de matéria fecal e papel higiênico. Apresentam elevada carga orgânica e presença de sólidos em suspensão, em grande parte sedimentáveis, em elevada quantidade (GONÇALVES, 2006).

No presente trabalho será adotado o seguinte conceito, as águas negras são as provenientes do vaso sanitário acrescidas das águas resultantes do uso das pias de cozinha.

Este tipo de água segregada das demais, resulta em estações de tratamento menores, operando de forma mais estável e produzindo menos sub-produtos (GONÇALVES, 2006).

Os gastos com água nos aparelhos sanitários derivam não somente das descargas associadas às necessidades fisiológicas como também da utilização inadequada do componente. Considerando-se que uma pessoa utiliza o sanitário, em média, cinco vezes por dia, sendo uma delas para as fezes e as outras para urina, o dispêndio de água potável decorrente é de pelo menos 24 a 32 litros/pessoa/dia (caso se utilize descargas reduzidas de 6 litros) (REBOUÇAS *et al*, 2007). A água negra proveniente dos vasos sanitários representa uma fração de 20 a 30% do volume dos esgotos domésticos.

O volume de águas negras é bem menor que o volume de água cinza produzido, apesar de conter a maior parte dos microrganismos patogênicos e dos nutrientes encontrados no esgoto doméstico (GALBIATI, 2009).

As principais características das águas negras estão descritas a seguir, segundo Gonçalves (2006):

- Elevada concentração de matéria orgânica e sólidos em suspensão;
- O perfil de vazão apresenta características de grande variação temporal, geração descontinuada e vazões pontuais elevadas;
- As características de consumo de água do aparelho sanitário utilizado também influenciam nas características do esgoto gerado, ou seja, menor consumo de água implica na concentração maior dos compostos presentes nas fezes e urina no efluente;
- A inclusão das águas originadas da pia da cozinha é atualmente uma prática recomendada, tendo em vista a presença de grande quantidade de sólidos em suspensão e compostos graxos, óleos e gorduras de origem animal e vegetal.

Para parâmetros como turbidez, por exemplo, a faixa de concentração reportada na literatura é ampla, com desvio padrão próximo a 300. Em termos de matéria orgânica carbonácea, expressa indiretamente como DQO e DBO<sub>5</sub>, encontra-se faixa de valores de concentração variando de 2000 a 6700 mg/L e 1900 a 3000 mg/L, respectivamente, reportadas por Rebouças *et al* (2007), Panikkar *et al* (2003) e Galbiati (2009).

De acordo com um número significativo de pesquisadores, as unidades mais recomendadas para este tipo de efluente, seriam sistemas de tratamento que utilizam o processo anaeróbio de estabilização da matéria orgânica, que são aqueles que se adaptam com mais flexibilidade às características deste tipo de efluente, tendo em vista suas características consagradas: baixo consumo de energia, tamanho pequeno, baixa produção de lodo, lodo de descarte já estabilizado e pronto para a disposição final, porém com um efluente final que não se adequa à legislação para o lançamento em corpos d'água. A disposição final recomendada poderia ser vala de infiltração ou sumidouros, segundo norma NBR 13969 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997).

## 2.6 Tratamento Biológico Anaeróbio

A primeira contribuição significativa ao tratamento anaeróbio dos esgotos sanitários foi a câmara vedada ao ar, desenvolvida em 1882, na França, na qual o material em suspensão presente nos esgotos era liquefeito (CAMPOS, 1999).

Ainda segundo Campos (1999), numerosos estudos realizados nas décadas de 1920 e 1930, levaram a um melhor entendimento do processo. Ao final dos anos 30, se tinha um conhecimento acumulado razoável do processo para permitir a sua aplicação prática no tratamento de lodos de esgotos em digestores aquecidos.

Para os esgotos sanitários, a aplicação de reatores anaeróbios como principal unidade de tratamento, teve início na década de 1980, principalmente na Holanda, Brasil, Colômbia, Índia e México. É interessante notar que, a maior parte dos países interessados nessa aplicação dos processos anaeróbios, possui condições climáticas favoráveis à operação de reatores à temperatura ambiente (CAMPOS, 1999; CHERNICHARO, 1997).

Diante das condições ambientais, culturais e econômicas do Brasil, soluções funcionalmente simples são as que utilizam os processos “mais naturais” e os reatores menos mecanizados e mais fáceis de serem construídos e operados.

Campos (1999) e Chernicharo (1997), descreveram algumas das vantagens e desvantagens do sistema de tratamento anaeróbio, dentre as vantagens estão:

- Baixo consumo de energia;
- Baixa demanda de área;
- Baixo custo de implantação;
- Menor produção de lodo de excesso;
- Possibilidade de recuperação e utilização do gás metano como combustível;
- Possibilidade de funcionar bem mesmo após longos períodos de interrupção (importante para efluentes sazonais).

Já para os principais aspectos negativos pode-se citar:

- Longo período de partida do sistema, se não há disponibilidade de inóculo adequado;



- Sensibilidade do processo a mudanças das condições ambientais (pH, temperatura, sobrecargas orgânicas e hidráulicas);
- Provável emissão de odores ofensivos (possível controle);
- Necessário pós-tratamento;
- Bioquímica e microbiologia complexas;
- Remoção de nitrogênio, fósforo e patógenos insatisfatória.

A digestão anaeróbia é um processo fermentativo que tem entre seus produtos finais o metano e o dióxido de carbono. A remoção da matéria orgânica originária dos esgotos ocorre através dos processos de catabolismo. O catabolismo fermentativo acontece devido a um rearranjo dos elétrons na molécula fermentada (SPERLING, 1996).

É um processo biológico no qual um consórcio de diferentes tipos de microrganismos, na ausência de oxigênio molecular, promove a transformação de compostos orgânicos complexos (carboidratos, proteínas e lipídios) em produtos mais simples, produzindo energia para seus processos vitais.

Os microrganismos envolvidos na digestão anaeróbia são muito especializados e cada grupo atua em reações específicas. Nos reatores anaeróbios, a conversão dos compostos orgânicos em metano é eficaz na remoção do material orgânico, apesar de não promover a oxidação completa, a exemplo de sistemas bioquímicos aeróbios.

Podem-se distinguir quatro etapas diferentes no processo global da digestão anaeróbia:

→ Hidrólise:

A hidrólise é a quebra de materiais complexos em outros mais simples que possam ser assimilados pelas bactérias fermentativas (CHERNICHARO, 1997).

Segundo Campos (1999), neste processo, o material orgânico particulado é convertido em compostos dissolvidos de menor peso molecular. O processo requer a interferência das chamadas exo-enzimas que são excretadas pelas bactérias fermentativas.

As proteínas são degradadas por meio de (poli)peptídios para formar aminoácidos. Os carboidratos se transformam em açúcares solúveis e os lipídios são convertidos em ácidos graxos de longa cadeia de carbono e glicerina.

Ocorre de forma lenta, sendo assim, em muitos casos, a velocidade da conversão do material orgânico complexo para biogás é limitada pela velocidade da hidrólise.

→ Acidogênese

Os compostos dissolvidos, gerados no processo de hidrólise, são absorvidos nas células das bactérias fermentativas e, após a acidogênese, excretadas como substâncias orgânicas simples como ácidos graxos voláteis de cadeia curta, álcoois, ácido láctico e compostos minerais como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), hidrogênio ( $\text{H}_2$ ), amônia ( $\text{NH}_3$ ), sulfeto de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{S}$ ), entre outros.

A fermentação acidogênica é realizada por um grupo diversificado de bactérias, das quais a maioria é anaeróbia obrigatória. Entretanto, algumas espécies são facultativas e podem metabolizar material orgânico por via oxidativa. Isso é importante nos sistemas de tratamento anaeróbio de esgoto, porque o oxigênio dissolvido, eventualmente presente, poderia se tornar uma substância tóxica para as bactérias metanogênicas se não fosse removido pelas bactérias acidogênicas facultativas (CAMPOS, 1999).

→ Acetogênese

As bactérias acetogênicas produzem substrato para as metanogênicas, seus produtos são hidrogênio, dióxido de carbono e acetato. Nessa fase pode haver um decréscimo de hidrogênio (CHERNICHARO, 1997).

→ Metanogênese

Os microrganismos metanogênicos, atualmente classificados como pertencentes ao domínio *Archaea*, utilizam um limitado número de substratos, compreendendo ácido acético, hidrogênio/dióxido de carbono, ácido fórmico, metanol, metilaminase e monóxido de carbono. São divididas em dois grupos principais, um que forma metano a partir de ácido acético ou metanol (acetoclásticas) e outro que produz a partir de hidrogênio e dióxido de carbono (hidrogenotróficas) (CHERNICHARO, 1997).

As acetoclásticas são as *arqueas* predominantes na digestão anaeróbia, responsáveis por cerca de 60 a 70% de toda produção de metano. As hidrogenotróficas juntamente com as acetoclásticas, são importantes na

manutenção do sistema anaeróbio, são responsáveis pelo consumo de hidrogênio gerado nas fases anteriores.

Sendo as *arqueas* metanogênicas as grandes responsáveis pela maior parte da remoção da matéria orgânica em um sistema anaeróbio, a sua baixa taxa de crescimento e de utilização dos ácidos orgânicos costuma ser normalmente o fator limitante no processo de digestão como um todo (CHERNICHARO,1997).

Vários são os fatores que influenciam o desempenho da digestão anaeróbia de águas residuárias. Dentre os fatores ambientais se destacam a temperatura, o pH, a alcalinidade e a presença de nutrientes.

A temperatura é um dos fatores ambientais mais importantes na digestão anaeróbia, uma vez que afeta os processos biológicos de diferentes maneiras. Dentre os principais efeitos da temperatura incluem-se as alterações na velocidade do metabolismo das bactérias, no equilíbrio iônico e na solubilidade dos substratos, principalmente de lipídios.

O tratamento de esgotos sanitários em reatores anaeróbios de alta taxa só é economicamente viável se o aquecimento de reatores for dispensável. Essa restrição pode limitar a aplicação bem sucedida de reatores anaeróbios a locais em que a temperatura do líquido mantém-se acima de 20°C. Segundo Chernicharo (1997), na faixa entre 20°C e 40°C, a mais comum para tratamento anaeróbio nos países tropicais e subtropicais, estão os microrganismos mesófilos.

Nitrogênio (N) e fósforo (P) são os nutrientes essenciais para todos os processos biológicos. A quantidade de N e P, em relação à matéria orgânica presente, depende da eficiência dos microrganismos em obter energia para síntese. A baixa velocidade de crescimento dos microrganismos anaeróbios, comparados aos aeróbios, resulta em menor requerimento nutricional.

Em geral, admite-se que a relação DQO : N : P de 500 : 5 : 1 é suficiente para atender às necessidades de macronutrientes dos microrganismos anaeróbios (SPEECE, 1996 *apud* CAMPOS, 1999).

Além dos macronutrientes, também existem micronutrientes essenciais ao tratamento anaeróbio, que sejam: enxofre, cálcio, magnésio, ferro, sódio e cloro, além de outros. O enxofre também é considerado um dos nutrientes essenciais para

a metanogênese e sua concentração, em geral, deve ser da mesma ordem de grandeza ou levemente superior à de fósforo (RAMOS, 2008).

Os microrganismos anaeróbios metanogênicos são considerados sensíveis ao pH, isto é, o crescimento ótimo ocorre em faixa relativamente estreita. O reator deve ser operado com pH entre 6,5 e 8,2 (CAMPOS, 1999). Quando o sistema está em equilíbrio, o pH no interior do reator deve-se manter próximo ou levemente superior a 7.

Portanto, reatores anaeróbios são reatores biológicos nos quais o esgoto é tratado na ausência de oxigênio livre (ambiente anaeróbio), ocorrendo a formação de uma biomassa anaeróbia (lodo anaeróbio) e, como um dos subprodutos principais do processamento da matéria orgânica, tem-se o biogás, que é composto principalmente de metano e gás carbônico.

O sistema de tratamento deve manter grande massa de microrganismos ativos que atue no processo da digestão anaeróbia e é necessário que haja contato intenso entre o material orgânico presente no afluente e a massa microbiana no sistema. O desempenho do reator dependerá da sua capacidade de reter a biomassa em seu interior.

São vários os sistemas que utilizam processos anaeróbios para o tratamento de esgotos, entre eles: filtros anaeróbios, lagoas anaeróbias e reatores de manta de lodo.

### 2.6.1 Sistemas de Tratamento Anaeróbios

De acordo com a NBR 13.969 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997), o reator biológico é uma unidade que concentra microrganismos e onde ocorrem as reações bioquímicas responsáveis pela remoção dos componentes poluentes do esgoto. Existem alguns tipos diferentes já consagrados, aos quais o modelo estudado se assemelha em alguns aspectos.

→ Reator Anaeróbio de leito fixo:

Os filtros biológicos (Figura 08) consistem em tanques contendo leito de pedras, areia, ripas, material sintético ou outro material inerte que serve de suporte

para aderência e desenvolvimento de microrganismos, os quais formam películas ou biofilmes na superfície, gerando alta retenção de biomassa no reator (ÁVILA, 2005).

Figura 08 - Reator retangular anaeróbio de leito fixo com fluxo ascendente.



Fonte: <<http://www.naturaltec.com.br/Tratamento-Agua-Fossa-Filtro.html>>, acesso em 12/12/2010.

O mecanismo do filtro biológico consiste na alimentação e percolação contínua do esgoto através do meio suporte. A contínua passagem dos esgotos nos interstícios promove o crescimento e aderência de massa biológica na superfície do meio suporte. Esta aderência é favorecida pela predominância de colônias gelatinosas, mantendo suficiente período de contato da biomassa com o esgoto (JORDÃO; PESSÔA, 2005). Sua eficiência fica em torno de 75% a 90% de remoção de DBO (TELLES; COSTA, 2007).

Segundo a NBR 13.969 (1997), o filtro anaeróbio consiste em um reator biológico onde o esgoto é depurado por meio de microrganismos não aeróbios, dispersos tanto nos interstícios do leito quanto nas superfícies do meio filtrante. Este é utilizado mais como retenção dos sólidos.

O processo é eficiente na redução de cargas orgânicas elevadas, desde que as condições sejam satisfatórias. Os efluentes do filtro anaeróbio podem exalar odores e ter cor escura.

Ainda segundo a norma supracitada, o filtro biológico anaeróbio necessita de área reduzida para sua instalação, possui operação e manutenção simples e seu custo operacional é baixo, sendo assim, possui boas características para a sua adoção como forma de tratamento local.

Sua configuração pode ser cilíndrica ou retangular e seu fluxo pode ser ascendente, descendente ou horizontal. Os de fluxo descendente

suspensos, dada a menor probabilidade de entupimento que aqueles de fluxo ascendente (LUIZ, 2007).

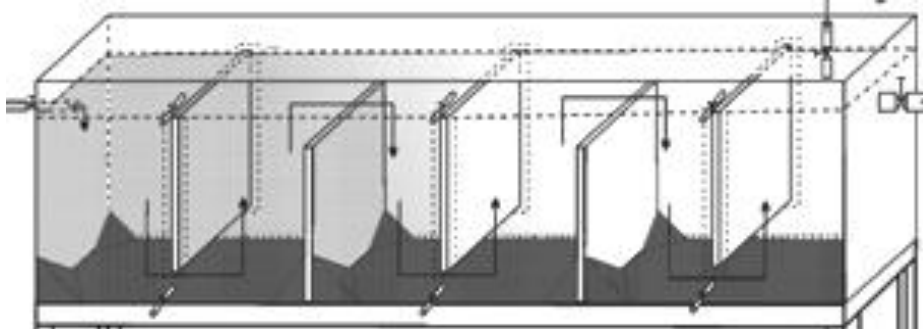
É importante a altura do leito filtrante, a NBR 13969 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997) limita a altura, incluindo a altura do fundo falso, em 1,20 m.

A escolha do tipo de material suporte é de fundamental importância para o sucesso desses reatores, visto que esses materiais determinam a capacidade de retenção das células e, muitas vezes, definem o equilíbrio e a diversidade da biota. (LUIZ, 2007).

→ Reator Anaeróbio compartimentado:

O reator compartimentado de chicanas (Figura 09) vem sendo pesquisado desde a década de 80, por apresentar grandes benefícios em relação a sistemas de tratamento estabelecidos como reatores UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) e filtros biológicos (BARBER; STUCKEY, 1998 *apud* SASSIM *et al*, 2001).

Figura 09 - Reator anaeróbio horizontal compartimentado.



Fonte: Luna *et al*, (2009).

Este reator apresenta grandes potencialidades de uso e inúmeras vantagens, tais como: melhor resistência a cargas de choques hidráulicas e orgânicas, longos tempos de retenção celular, baixa produção de lodo, baixo custo de construção e projeto simples (BARBER; STUCKEY, 1998 *apud* SASSIM *et al*, 2001).

O reator anaeróbio compartimentado ou de chicanas (*Anaerobic Baffled Reactor* - ABR) é um tanque com diversas câmaras dispostas horizontalmente em série, cada qual separada por paredes ou chicanas verticais (BARBER; STUCKEY, 1999). As diversas chicanas verticais, ficam localizadas de tal maneira que forçam a água residual afluente a movimentar-se descendente e ascendentemente, atravessando a densa camada de população microbiana presente na manta

existente em cada câmara. Este artifício possibilita maior contato entre o afluente e os microrganismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica, além de dificultar a perda de sólidos por arraste, na saída do efluente.

Fisicamente, se assemelha a um tanque séptico com câmaras em série, não tendo, em geral, dispositivo interno de separação de sólidos e gases, podendo ser fechado ou totalmente aberto e ser construído enterrado, uma vez que requer menores profundidades (CAMPOS, 1999).

O reator de chicanas combina as vantagens do filtro anaeróbio, que apresenta alta estabilidade e segurança, e do reator UASB, no qual a própria biomassa agregada facilita a sua retenção no reator.

Outra importante vantagem do reator anaeróbio compartimentado é a habilidade de separar os microrganismos acidogênicos dos metanogênicos no reator. Isto permite que diferentes populações de microrganismos dominem cada compartimento. Os microrganismos acidogênicos predominam no primeiro compartimento e os metanogênicos dominam os compartimentos subseqüentes. A separação das fases acetogênica e metanogênica, pode levar a um aumento na resistência às cargas de choque causadas pela variação da temperatura, do pH, da concentração de matéria orgânica e da presença de materiais tóxicos no afluente (FOXON *et al*, 2004 e KUŞÇU; SPONZA, 2005 *apud* OLIVEIRA *et al*, 2007).

Uma condição interessante é a existência de um meio suporte inerte para a adesão ou fixação dos microrganismos, resultando em películas ou biofilmes de espessuras variáveis. Os meios de enchimento ocupam um volume razoável do reator e há diversas configurações de reatores anaeróbios com lodo imobilizado nessa forma (CAMPOS, 1999).

## **2.7 Uso da casca de coco verde como meio suporte**

A produção anual de coco (*Cocos nucífera*) no Brasil está estimada em 1,5 bilhões de frutos, estando o país entre os dez maiores produtores da fruta no mundo (AZEVEDO *et al*, 2008). Essa produção e a conseqüente geração das cascas estão atreladas à culinária e ao hábito de se beber a água do fruto. Embora não seja

natural do Brasil, suas palmeiras podem ser vistas por todo litoral do nordeste do país e parte do sudeste e do norte (PASSOS, 2005).

Cerca de 70% do lixo gerado no litoral dos grandes centros urbanos do Brasil é composto por casca de coco verde, material de difícil degradação que vem diminuindo a vida útil de aterros sanitários. O aumento no consumo da água-de-coco está gerando cerca de 6,7 milhões de toneladas de casca por ano, transformando-se em um sério problema ambiental, principalmente para as grandes cidades. A cada 250 mL de água de coco há a geração de 1kg desse resíduo, haja vista que cerca de 80 a 85% do peso bruto do coco verde equivale a sua casca, que leva cerca de 8-10 anos para degradar-se (AZEVEDO *et al*, 2008, p.57).

A fibra de coco pertence à família das fibras duras, tais como o "sisal". Segundo Passos (2005), quanto a sua constituição, as fibras vegetais são formadas basicamente de celulose, hemicelulose, lignina, pectina e minerais. Essa constituição lhe confere elevados índices de rigidez e dureza. A baixa condutividade ao calor, a resistência ao impacto, às bactérias e a água, são algumas de suas características (SENHORAS, 2003).

Dentre as tecnologias existentes para o tratamento de efluentes, pode-se destacar a utilização de processos baseados na formação de biofilme, devido à alta capacidade de adaptação do mesmo sob condições de estresse. Demonstrou-se que culturas aderidas são menos fortemente influenciadas do que culturas em suspensão por mudanças em condições ambientais (temperatura, pH, concentração de nutrientes, produtos metabólicos e substâncias tóxicas) (AZEVEDO *et al*, 2008).

A retenção de biomassa ativa no interior de reatores anaeróbios é fator decisivo para o sucesso do processo de tratamento e depende de vários fatores operacionais e ambientais. A perda da biomassa com o efluente influencia negativamente o desempenho do tratamento. Uma forma de se evitar essa perda é sua imobilização em material suporte, formando os biofilmes (ABREU; ZAIAT, 2008).

Sistemas com meio suporte, o tempo de detenção hidráulica pode ser menor que o tempo de geração celular, sem que ocorra lavagem das células, pelo fato das mesmas estarem aderidas a um meio suporte. Em consequência, existe a possibilidade de adotar um volume menor para o reator (SPERLING, 1996).

O meio suporte deve ter como requisitos básicos, suficiente porosidade e uniformidade de tamanho das partículas, grande área superficial e habilidade para suportar a microflora (SILVA, 2008).



Segundo Chernicharo *et al* (1997), o material suporte deve possuir as seguintes características:

- Elevada área superficial, para aumentar a quantidade de microrganismos presentes e aumentar, conseqüentemente, a capacidade de remoção de matéria orgânica;
- Ser estruturalmente forte, para suportar o seu próprio peso e o peso do biofilme que cresce aderido às suas paredes;
- Ser suficientemente leve, para permitir reduções significativas nos custos de obras civis e para permitir construções mais altas, que conseqüentemente ocupem menos área;
- Ser biológica e quimicamente inerte;
- Apresentar o menor custo possível por unidade de DBO removida.

A avaliação da potencialidade do uso da casca de coco verde (Figura 10), que apresenta uma elevada capacidade de retenção de umidade e alta porosidade, como suporte para biofilmes, torna-se uma alternativa extremamente atrativa de aliar a aplicação de um resíduo sólido abundante no Brasil ao tratamento de efluentes industriais ou sanitários (PINTO, 2003). E, segundo Cruz *et al* (2009), suas fibras têm grande resistência à degradação, o que o elegem como uma boa opção para meio suporte dos microrganismos anaeróbios.

Dessa maneira, pela facilidade de acesso e pelo agravo ambiental, foi selecionada a casca de coco verde como meio suporte para o sistema de tratamento em estudo no presente trabalho.

Figura 10 - Cascas de coco verde utilizadas em reator anaeróbio.



Fonte: Cruz et al. (2009).

Segundo Cruz *et al* (2009), em estudo de caso utilizando a casca de coco verde como meio suporte em reator anaeróbio, ficou comprovado sua boa aplicabilidade, pois as mesmas puderam ser colonizadas pelos microrganismos responsáveis pela digestão anaeróbia.

Sendo assim, a casca de coco verde é uma alternativa sustentável, pois é um produto de descarte, de fácil acesso nas regiões litorâneas e baixo custo para o usuário.

De acordo com Gabriel *et al* (2007 *apud* PANTOJA FILHO, 2008), que monitorou pelo período de um ano um biofiltro preenchido com fibra de coco no tratamento de amônia, este material tem algumas propriedades interessantes, como a alta capacidade de armazenamento de água e relação balanceada de Carbono/Nitrogênio/Fósforo.

Na Tabela 04 encontra-se a caracterização química da casca de coco verde segundo Azevedo *et al*, (2008).

Tabela 04 - Caracterização química da casca de coco verde.

Elemento	Concentração (g/kg)	Parâmetro	Valor
N	6,52	pH	5
P	1,42	Condutividade	2,15 mS/cm
K	11,5	Nitrogênio Total	0,51%
Ca	6,8	Fósforo	0,2%
Mg	1,79		
Na	12,5		
Fe	1,97		

Fonte: Adaptado Azevedo *et al*, (2008).

## 2.8 Efeitos Ambientais e Sanitários do Reuso

As águas residuárias possuem constituintes químicos e microbiológicos que não são totalmente removidos ou inativados nas estações de tratamento. O residual de alguns desses pode constituir a causa de alguns riscos para a saúde pública e para o ambiente. O controle desses riscos baseia-se necessariamente no conhecimento da sua proveniência e dos impactos sobre a saúde humana e no ambiente em geral.

No âmbito da reutilização de águas residuárias é muito importante o conhecimento das características qualitativas das mesmas, pois tal informação

permite prever: as aplicações da reutilização, que dependem do volume de água disponível; a composição da água a reutilizar, que será função das características das águas residuárias brutas e do tipo de tratamento que receberam ou a que deverão ainda ser submetidas para se adequarem às utilizações desejadas (MONTE; ALBUQUERQUE, 2010).

Em relação às águas originadas no espaço doméstico é previsto que alguns tipos de reaproveitamento possam envolver riscos à saúde pública. Porém, o fato dos agentes infecciosos estarem presentes nos efluentes não significa que doenças serão transmitidas com a sua utilização, no entanto, existe um risco potencial associado a esta prática (ALMEIDA, 2007).

Na maioria das aplicações de reutilização, os riscos sanitários e ambientais decorrentes da presença de microrganismos patogênicos são considerados praticamente inexistentes, porque são controlados adequadamente. Porém, há perigos cujo risco deve ser avaliado (MONTE; ALBUQUERQUE, 2010).

Ainda segundo Monte e Albuquerque (2010), a avaliação de risco compreende: a caracterização dos efeitos expectáveis na saúde (perigos); a estimativa da probabilidade de ocorrência desses efeitos, que está relacionada com o tipo e intensidade de exposição ao fator de risco; o número de casos afetados por tais efeitos; e a proposta (quando possível) de concentração aceitável do constituinte que induz o risco do perigo acontecer.

Os microrganismos patogênicos presentes nas águas residuárias provêm das excreções (fezes e urina) de pessoas infectadas, que no esgoto doméstico são encontrados principalmente no efluente primário. Os patogênicos presentes nas águas residuárias e susceptíveis de disseminação no ambiente classificam-se nos seguintes grupos: bactérias, protozoários, helmintos e vírus. Os nematóides têm uma alta frequência de infecção, seguida pelas bactérias e, por último, os vírus (OMS, 2000).

A quantidade e a tipologia dos microrganismos presentes nas águas residuárias urbanas são muito variáveis de um aglomerado populacional para outro. Dependem de fatores relacionados com o estado de saúde da população (o que está relacionado com as suas características socioeconômicas) e de fatores

condicionantes da sobrevivência dos microrganismos nas águas residuárias (MONTE; ALBUQUERQUE, 2010).

Devido ao risco sanitário, as diretrizes para o uso de águas residuárias são bastante restritivas, por isso, com a atual necessidade de conservação da água, torna-se mais urgente estudos na área que comprovem a possibilidade de diminuição desses índices.

Na Tabela 05, estão descritos os agentes causadores de algumas doenças de veiculação hídrica e o meio pelo qual se realiza a contaminação do indivíduo.

Tabela 05 - Agentes infectantes, suas formas de transmissão e doenças causadas.

<b>TRANSMISSÃO</b>	<b>DOENÇA</b>	<b>AGENTE</b>
<b>Ingestão de água contaminada</b>	Disenteria bacilar	Bactéria ( <i>Shigella dysenteirae</i> )
	Cólera	Bactéria ( <i>Vibrio cholerae</i> )
	Leptospirose	Bactéria ( <i>Leptospira</i> )
	Salmonelose	Bactéria ( <i>Salmonella</i> )
	Febre tifóide	Bactéria ( <i>Salmonella tphi</i> )
	Disenteria amebiana	Protozoário ( <i>Entamoeba histolytica</i> )
	Giardíase	Protozoário ( <i>Giardia lamblia</i> )
	Hepatite infecciosa	Vírus (vírus da hepatite A)
	Gastroenterite	Vírus ( <i>Enterovírus, parvovírus, rotavírus</i> )
	Paralisia infantil	Vírus ( <i>Polioiellites vírus</i> )
<b>Ingestão de água e alimentos contaminados</b>	Ascariíase	Helminto ( <i>Ascaris lumbricoides</i> )
	Tricuríase	Helminto ( <i>Trichuris trichiura</i> )
	Ancilostomíase	Helminto ( <i>Ancilostoma duodenale</i> )
<b>Contato com água contaminada</b>	Escabiose	Sama ( <i>Sarcoptes scabiei</i> )
	Tracoma	Clamídea ( <i>Chlamydia tracomatis</i> )
	Esquistossomose	Helminto ( <i>Schistossoma</i> )

Fonte: OLIVEIRA (2003).

O risco zero jamais será alcançado. Por isso, alguns procedimentos devem ser tomados ao se decidir por fazer o reuso de efluentes (ALMEIDA, 2007).

O efluente secundário, também chamado de águas cinzas, possui uma menor quantidade de microrganismos patogênicos, podendo ser considerado um efluente

---

com um baixo risco de contaminação se comparado com o primário, no entanto, o risco potencial de contaminação proveniente do uso deste efluente não deve ser descartado (ALMEIDA, 2007).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Características Edafoclimáticas de Maceió-AL

Maceió, cidade a qual está implantada o objeto de estudo, situa-se no litoral oriental do Nordeste brasileiro (Figura 11), encontra-se entre a latitude 9°39'57" Sul e longitude 35°44'07" Oeste, às margens do Oceano Atlântico, e do complexo lagunar Mundaú – Manguaba. Tem como limites ao norte, os municípios de Flexeiras, Paripueira e Messias; ao sul, Coqueiro Seco, Santa Luzia do Norte, Satuba e Marechal Deodoro; a oeste, Satuba, Rio Largo e Messias e a leste o Oceano Atlântico.

Figura 11 - Local onde está inserido o objeto de estudo.



Legenda: a) Cidade de Maceió – capital de Alagoas; b) Bairro Serraria com seus bairros adjacentes dentro da cidade de Maceió.

Fonte: Google Maps, acesso em 13/12/2010, 13:47:54.

Abrange uma área de 512 km<sup>2</sup>. De clima quente e úmido, constitui um bom exemplo de constância de nível térmico que caracteriza o litoral do Nordeste

brasileiro, com temperatura média anual de 25,4°C e variação anual de 3,4°C entre os valores médios mensais das temperaturas médias de 26,7°C em fevereiro e 23,7°C em julho (BARBIRATO *et al*, 2002).

Está sob influência alternada dos ventos alísios de Sudeste, mais frequente (de velocidade fraca a moderada) e os ventos de retorno do Nordeste nos meses mais quentes (janeiro, fevereiro e março). A pluviosidade média anual é de 1654mm, com meses mais chuvosos de abril a julho (BARBIRATO *et al.*, [200-?])<sup>5</sup>.

A região apresenta evapotranspiração potencial anual média em torno de 1.200mm. O quadrimestre outubro-janeiro corresponde aos meses mais quentes do verão, período no qual ocorre, em média, 40% da evapotranspiração. A nebulosidade da região é baixa e a umidade relativa do ar varia, em média, de um máximo de 82,9% no mês de maio a um valor mínimo de 75,7% no mês de novembro (SANTOS *et al*, 2000).

A cidade de Maceió está assentada em um substrato geológico de origem sedimentar pertencente à Bacia Sedimentar Sergipe-Alagoas. Esta Bacia apresenta uma área total de 27.000 Km<sup>2</sup> e se estende por aproximadamente 300 km ao longo da Margem Atlântica Brasileira. Sobre essa bacia ocorreu uma sedimentação predominantemente fluvial e aluvial durante o período Terciário que modelou o relevo de Maceió no formato de Tabuleiros com espessuras que variam de 20 a 100 m, denominados de Formação Barreiras (PREFEITURA MUNICIPAL DE MACEIÓ, 2007).

Ainda segundo a Prefeitura Municipal de Maceió (2007), o Plano Municipal de Redução de Risco afirma que litologicamente a Formação Barreiras é constituída por sedimentos pouco ou mal consolidados (areia fina a grossa, pouco argilosa), de coloração variada, com pouca plasticidade, baixa massa específica aparente, intercalada por lentes argilosas e mineralogicamente composta por grãos silicosos com cimento caulínico.

### **3.2 Implantação do Objeto de Estudo**

Este experimento teve início em 2009, em residência unifamiliar com cinco residentes, situada no condomínio residencial San Nicolás, no bairro da Serraria em

---

<sup>5</sup> <http://www.cbmet.com/cbm-files.pdf>, acesso em 16/12/2010.

Maceió-AL ( $9.5958^{\circ}$  S e  $35.73114^{\circ}$  W) (Figura 12). Na Figura 13, tem-se a localização do sistema de tratamento proposto no lote o qual está implantado.

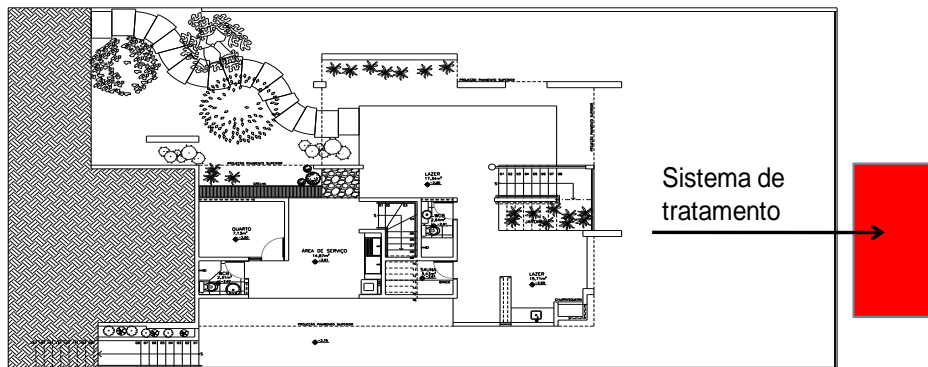
Figura 12 - Planta de situação (sem escala).



Legenda: Em **vermelho** lote onde encontra-se implantado o sistema estudado, em **rosa** ponto de referência – depósito de gás e em **cinza** a Av. Menino Marcelo.

Fonte: Do autor.

Figura 13 - Planta baixa inferior (sem escala), nível -2,60m.



Legenda: Localização do sistema de tratamento proposto no terreno.

Fonte: Do autor.

### 3.3 O sistema de tratamento biológico implantado

#### 3.3.1 O projeto

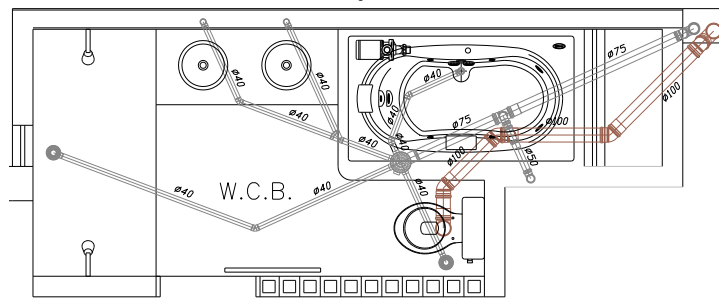
O projeto das instalações hidrossanitárias contemplou a segregação dos efluentes em águas cinzas e águas negras (Figura 14). O dimensionamento hidráulico do sistema foi de acordo com NBR 8160 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1999), Sistemas Prediais de Esgotos Sanitário – Projeto e Execução. O consumo diário de água é de aproximadamente 1425 L/dia, adotando-se 1,5L por m<sup>2</sup> de jardim, e 7 pessoas na habitação, cada uma consumindo cerca de 150 L/dia. Sendo a geração de efluentes aproximadamente 80% do consumo de



água, gera-se assim, diariamente, aproximadamente 1140 L/dia de efluente (águas cinzas e negras).

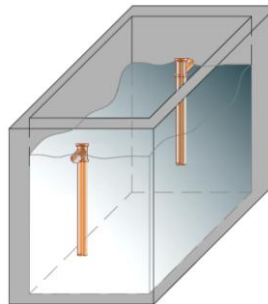
O sistema de tratamento biológico dos efluentes (Apêndice) foi dimensionado de forma distinta. As águas cinzas (águas do lavatório, chuveiro, tanque e máquina de lavar) foram direcionadas para um tanque que funciona como equalizador (Figura 15), ao sair do tanque, as águas cinzas eram encaminhadas para a caixa de inspeção para futuro reuso (Figura 16). Para as águas negras, o reator utilizado foi do tipo anaeróbio com chicanas, com meio suporte de casca de coco verde, da espécie *Cocos nucifera* (Figuras 16 e 17).

Figura 14 - Segregação das águas cinzas e negras em banheiro da residência unifamiliar objeto de estudo.



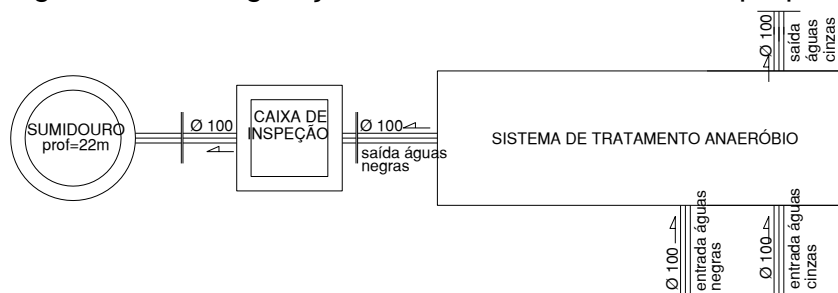
Fonte: Do autor.

Figura 15 - Tanque equalizador para as águas cinzas.



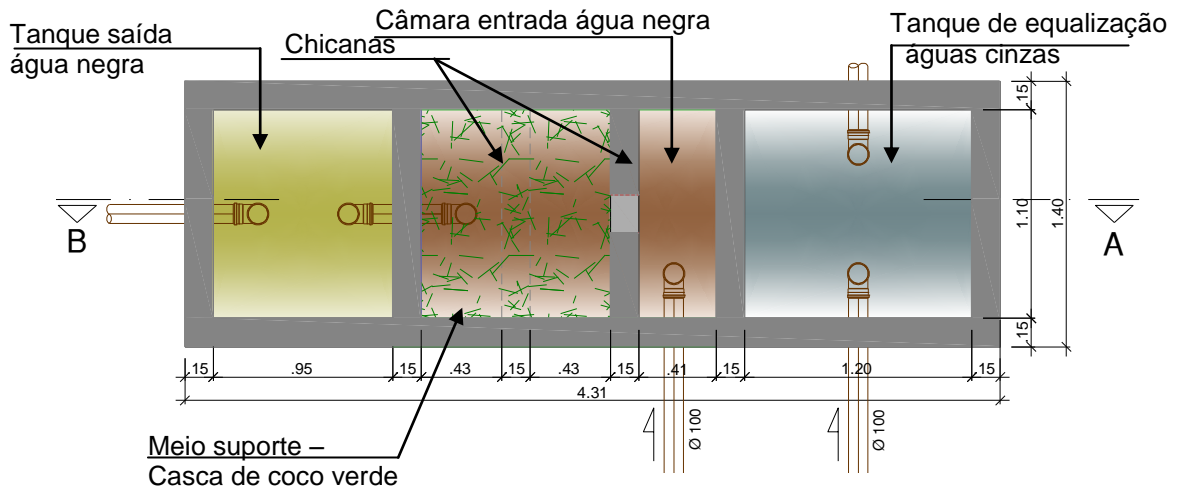
Fonte: Do autor.

Figura 16 - Configuração do sistema de tratamento proposto.



Fonte: Do autor.

Figura 17 - Planta baixa (sem escala) do sistema de tratamento proposto.



Fonte: Do autor.

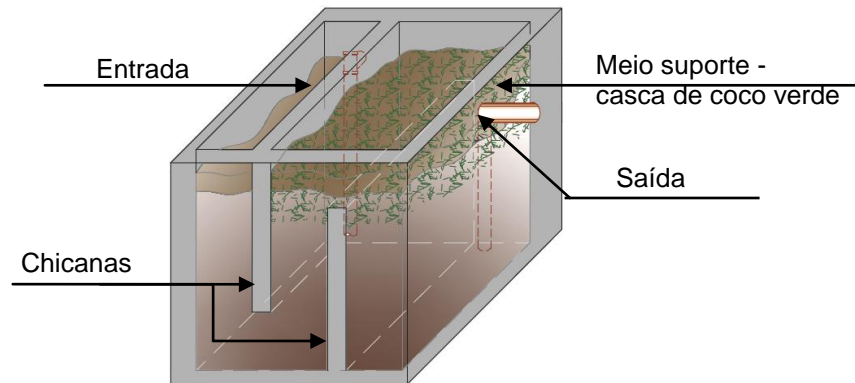
→ Reator Anaeróbio com Chicanas (RACH):

O reator utilizado no tratamento das águas negras no presente trabalho é uma alteração da concepção física do Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo, visto que, segundo Barboza *et al* (2005), seu uso no tratamento de esgotos sanitários possui um problema operacional de colmatagem do leito. Para isso, foram adicionadas chicanas e utilizado meio suporte com grandes dimensões e variação de formato a fim de evitar o problema supracitado, sendo o novo sistema de tratamento denominado de Reator Anaeróbio Horizontal com Chicanas - RACH.

O meio suporte para sustentação da biomassa tinha ainda a função de aumentar a concentração de microrganismos e melhorar assim a eficiência do reator. A retenção se dá pela aderência dos microrganismos ao meio, formando o biofilme e também fisicamente nos interstícios.

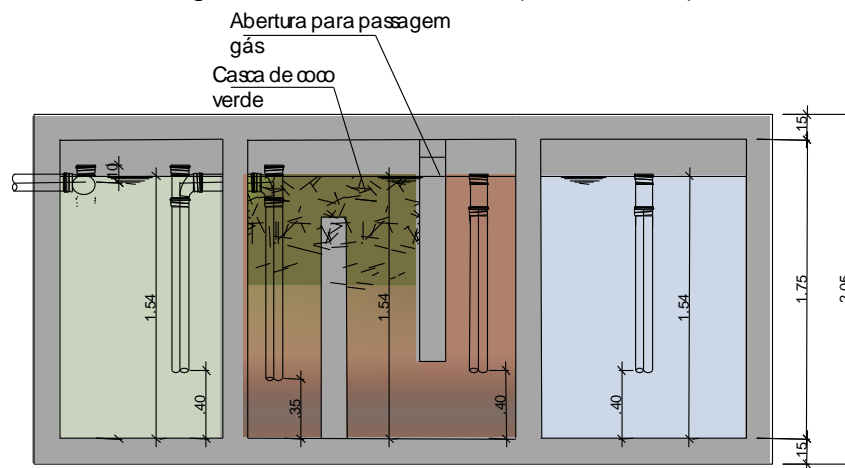
O RACH deste estudo é um reator anaeróbio de chicanas com meio suporte (casca de coco verde), que apresenta volume interno aproximado de  $3,00 \text{ m}^3$  e possui três câmaras com volumes próximos a  $0,93 \text{ m}^3$  (Figuras 18 e 19). Foi construído em alvenaria revestida com argamassa de cimento e areia, com uma camada de impermeabilizante. Após a passagem pelas três câmaras, o efluente é direcionado para um tanque antes de misturar-se às águas cinzas no tanque de junção de efluentes.

Figura 18 - Reator anaeróbio com meio suporte de fluxo vertical com chicanas estudado.



Fonte: Do autor.

Figura 19 - Corte RACH (sem escala).



Fonte: Do autor.

As tubulações de entrada e saída do sistema foram em PVC com diâmetro de 100 mm. A tubulação de entrada foi instalada a uma altura de 40 cm da base do reator, forçando que o efluente, assim que entre no sistema, tenha um movimento ascensional. O posicionamento das chicanas teve como objetivo fazer com que houvesse movimentos ascendentes e descendentes forçando a passagem do líquido pelo meio suporte – casca de coco verde, atravessando assim regiões de elevada concentração de microrganismos ativos, que se formaram junto ao fundo de cada câmara e através da adsorção no meio suporte.

A tubulação de saída foi instalada a uma altura de 1,54 m da base do reator. Atualmente o efluente é direcionado para uma caixa de junção de efluentes, a qual também é direcionada às águas cinzas e, em seguida, é encaminhado ao sumidouro. O sistema foi alimentado com as águas negras proveniente dos vasos sanitários e pias de cozinha (Figura 20).

Figura 20 - Sistema estudado: a) Visita das câmaras; b) Entrada águas cinzas; c) Entrada águas negras.



Fonte: Do autor.

No mês de setembro (2010), foi inserido no sistema de tratamento em estudo, na segunda e terceira câmaras, o meio suporte casca de coco verde (Figuras 19 e 21). Sua inserção se deu após um ano da partida do reator, o qual já se encontrava em equilíbrio dinâmico aparente.

Figura 21: Câmara com meio suporte – casca de coco verde.



Fonte: Do autor.

A casca depositada foi adquirida sem custos com comerciante local. Cerca de 140 cocos foram cortados em quatro partes, não sendo realizado nenhum tratamento neles, facilitando seu uso em sistemas individuais de tratamento em residências unifamiliares.

O coco possui como medidas aproximadas 25 cm de comprimento e 15 cm de diâmetro<sup>6</sup>, com base nesses dados calculou-se o volume inserido no sistema que foi aproximadamente 0,65 m<sup>3</sup>, sendo este dividido nas duas câmaras, como já explicado anteriormente. Ficando o meio suporte com uma altura aproximada de 60 cm dentro das câmaras ao qual foi inserido (Figura 19).

<sup>6</sup> Fonte: < <http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/coco/coco-1.php>>, acesso em 18/03/2011.

### 3.3.2 Operação e manutenção

A operação e manutenção foi bastante simplificada, devendo sua limpeza ser feita anualmente segundo a NBR 7229 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993) e a NBR 13969 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997).

Não houve necessidade de acompanhamento permanente pelo operador, sendo, contudo, importante a realização de análises periódicas (num período contínuo de 3 meses) para verificação da eficiência do sistema, nos casos de reuso e lançamento em corpos receptores do efluente. Como o efluente no sistema avaliado era direcionado para um sumidouro, não houve necessidade de tais análises, sendo estas realizadas apenas para o estudo.

O material utilizado para meio suporte está ainda em fase de pesquisa, não sabendo-se sua vida útil, porém, no período do projeto, cinco meses de experimento, não houve influentes degradações no mesmo.

## 3.4 Caracterização física, química e biológica dos efluentes brutos e tratados

### 3.4.1 Coletas

As coletas foram realizadas entre os meses de setembro (2010) e janeiro (2011). O intervalo entre as amostragens foi de sete dias, totalizando cinco meses de análises. Como o sistema já estava em funcionamento, houve coletas esporádicas nos meses anteriores, que também fizeram parte das análises de eficiência do sistema.

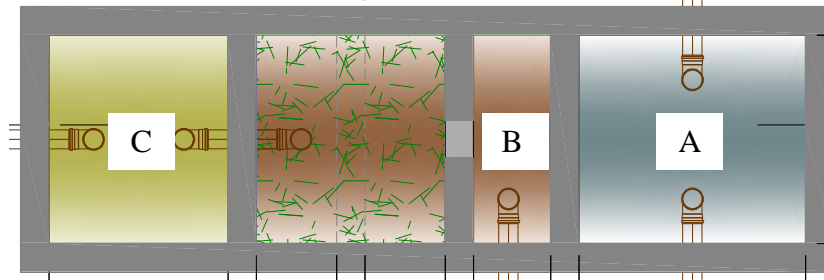
O horário de realização das mesmas era aproximadamente às 8:00 horas da manhã, preferencialmente às segundas-feiras, visando ter sempre uma mesma contribuição de água potável no momento de amostragem.

Para as águas cinzas coletou-se em um único ponto, no tanque de equalização. As águas negras foram coletadas em dois pontos; na entrada (primeira câmara) e saída do sistema (quarta câmara) (Figura 22).

A coleta (Figura 23) era realizada com um recipiente plástico de aproximadamente 1L de volume, o mesmo era preso em um fio de aço e com um

auxílio de um bastão era imerso no sistema até seu completo enchimento.

Figura 22 - Localização dos pontos de coleta.



Legenda: A=Ponto de coleta água cinza; B=Ponto de coleta água negra e C=Ponto de coleta água negra tratada.

Fonte: Do autor.

Figura 23 – Coleta.



Legenda: a) Câmara aberta; b) Amarração do recipiente a ser submerso; c) Imersão do recipiente na câmara; d) Passagem do efluente coletado para recipiente a ser levado ao laboratório para posteriores análises.

Fonte: Do autor.

Este procedimento era repetido duas vezes em cada ponto de amostragem, pois para cada tipo de água coletavam-se aproximadamente 2L da mesma. O efluente coletado era vertido em recipiente de maior capacidade com auxílio de um funil.

### 3.4.2 Parâmetros avaliados

Para a análise de eficiência do sistema de tratamento, fez-se necessária as análises de alguns parâmetros. Foram definidos os mais relevantes para o trabalho em questão, os mesmos estão descritos na Tabela 06.

As análises da Tabela 06 foram realizadas em duplicata no Laboratório de Saneamento Ambiental da UFAL (LSA/UFAL), de acordo com os procedimentos descritos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*



(AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 2005). A partir do mês de dezembro, as mesmas análises, também foram realizadas no laboratório do IMA – Instituto do Meio Ambiente de Alagoas, excetuando-se as análises físicas e condutividade.

Tabela 06 - Parâmetros de qualidade das águas residuárias avaliados.

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>Unidade</b>	<b>Método Analítico</b>
<b>FÍSICAS</b>		
Temperatura	°C	Determinação direta com sonda
Cor aparente	uC	Método nefelométrico
Turbidez	UNT	Método nefelométrico
Sólidos Sedimentáveis	mL/L	Método gravimétrico
<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>Unidade</b>	<b>Método Analítico</b>
<b>QUÍMICAS</b>		
Sólidos Voláteis	mg/L	Método gravimétrico
Sólidos Fixos	mg/L	Método gravimétrico
DBO <sub>5</sub>	mg/L	Método dos frascos padrões
DQO	mg/L	Método colorimétrico
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	Método da destilação
Fósforo Total	mg/L	Método do ácido ascórbico pela oxidação em meio ácido
pH	-	Método eletrométrico
Alcalinidade Total	mgCaCO <sub>3</sub> /L	Método titulométrico
Cloretos	mg/L	Método Argentométrico (Método de Mohr)
Condutividade	mS/cm	Método Eletrométrico
<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>Unidade</b>	<b>Método Analítico</b>
<b>BIOLÓGICAS</b>		
Coliformes totais	UFC/100ml	Filtração em membrana utilizando meio de cultura o Chomocult Coliformen <sup>®</sup> Agar
<i>Escherichia coli</i>	UFC/100ml	Filtração em membrana utilizando meio de cultura o Chomocult Coliformen <sup>®</sup> Agar / Tubos múltiplos

Fonte: Do autor.

Todas as análises eram realizadas semanalmente, após a coleta, as águas a serem analisadas eram levadas aos laboratórios supracitados para início da realização dos exames. Coliformes, DBO<sub>5</sub>, DQO, pH, nitrogênio amoniacal, cor e turbidez eram realizados até vinte e quatro horas após a coleta impreterivelmente. O restante das análises eram realizadas até cinco dias após a coleta, para sua preservação, as mesmas eram refrigeradas.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos resultados das análises laboratoriais para as águas cinzas, águas negras e águas negras tratadas (Figura 24), foram feitas as médias e obtidas as caracterizações das mesmas, bem como foi obtida a eficiência do RACH.

A caracterização utilizou valores mínimos, máximos e a média aritmética para os parâmetros físicos e químicos. Para os parâmetros biológicos foi empregada a média geométrica, que representa melhor a tendência central, conforme citado por Sperling (2005). Também, foi realizado o cálculo de desvio padrão das médias.

Figura 24 - 1 - Água cinza, 2 - Água negra, 3 - Água negra tratada.



Fonte: Samuel Tenório.

### 4.1 Águas Cinzas

Os resultados qualitativos das águas cinzas, obtidos através das análises nos laboratórios, estão expressos nas Tabelas 7, 8 e 9. Os mesmos foram comparados com dados obtidos por diferentes autores, sendo importante salientar que dentre os mesmos apenas Fiori *et al* (2006) trabalhou com águas cinzas provenientes de lavatórios, chuveiros, máquinas de lavar e pias de cozinha. Os demais conceituaram águas cinzas igualmente ao presente trabalho, sem o efluente proveniente da cozinha.



Tabela 07 - Resultados das características biológicas – águas cinzas.

<b>ÁGUAS CINZAS – CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS</b>					
<b>Parâmetro</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Média*</b>	<b>Máximo</b>	<b>D.P.**</b>	<b>N***</b>
Coliformes Totais (UFC x 10 <sup>5</sup> /100 mL)	5	27,0	62	23,1	15
Coliformes Termotolerantes (UFC x 10 <sup>5</sup> /100 mL)	1	10,3	50	19,0	15

Fonte: Do autor.

\* Média geométrica;

\*\* Desvio padrão;

\*\*\*Número de amostragens

Com os resultados da Tabela 07, percebe-se uma moderada instabilidade no nível de coliformes totais e termotolerantes detectados, utilizando como base os valores mínimos e máximos. Na literatura, os resultados abrangem uma grande variação nesses parâmetros. Para coliformes termotolerantes encontram-se valores de  $4 \times 10^2$  NMP/100 mL (BORGES, 2003) a  $6 \times 10^5$  UFC/100mL (FRIEDLER *et al*, 2005),  $1,3 \times 10^5$  NMP/100 mL (FIORI *et al*, 2006),  $9,56 \times 10^5$  NMP/100mL (NIRENBERG; REIS, 2010).

Logo, os resultados obtidos encontram-se dentro dessa margem de variação supracitada, sendo, sobretudo, semelhantes aos resultados encontrados por Friedler *et al* (2005), Fiori *et al* (2006) e Nirenberg e Reis (2010). Nesse sentido, os resultados de coliformes totais, do presente trabalho, foram semelhantes aos resultados encontrados por Borges (2003) e Fiori *et al* (2006), que encontraram valores da ordem de  $9,42 \times 10^5$  NMP/100 mL e  $1,6 \times 10^5$  NMP/100 mL, respectivamente. Estes valores dependem bastante da forma de uso da água na habitação, variando com as características culturais e sociais do local.

Dentre os parâmetros físicos, a temperatura manteve-se próxima a 25°C em todas as épocas de amostragem. Este fator é importante, caso almeje-se fazer um tratamento no futuro, pois a temperatura é primordial no desenvolvimento dos microrganismos. Dessa forma, de acordo com a resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005), o efluente do presente trabalho está dentro do parâmetro de lançamento exigido no tocante à temperatura, ficando abaixo de 40°C. Outros autores também encontraram temperaturas próximas a 25°C, Borges (2003) obteve como média a temperatura de 24,1°C, enquanto Nirenberg e Reis (2010) observaram temperatura

Na Tabela 08 encontram-se os resultados para cor, turbidez e sólidos sedimentáveis. A cor apresentou uma pequena oscilação durante o período de amostragem comparada a turbidez, que, por sua vez, obteve uma variação de 35,7 a 361 UNT. Este índice é provocado pela presença de material fino (partículas) em suspensão que podem servir de abrigo para microrganismos.

Os resultados encontrados para cor 103,2 uC e turbidez 107,4 UNT assemelham-se aos encontrados na literatura quando se observa a grande faixa de variação.

Borges (2003) obteve grande variação de cor em suas análises, desde 9,0 até 300,00 uC, enquanto a média para turbidez ficou em torno de 193 UNT. Já Fiori *et al* (2006) encontraram como média 337,3 UNT, apresentando uma variação de 98,2 a 383,3 UNT. Por outro lado, Friedler *et al* (2005) encontraram para a água cinza bruta 33 UNT de turbidez. Essa grande variação detectada na literatura, assim como no presente trabalho, comprova que as características das águas cinzas dependem fortemente das condições de uso as quais as águas são expostas pelos usuários.

Os sólidos sedimentáveis estão dentro do permitido pela CONAMA 357 (BRASIL, 2005) que é menor ou igual a 1 mL/L.

Tabela 08: Resultados das características físicas – águas cinzas.

<b>ÁGUAS CINZAS – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS</b>					
<b>Parâmetro</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Média</b>	<b>Máxima</b>	<b>D.P.*</b>	<b>N**</b>
Cor Aparente (UC)	70,0	103,2	170,7	25,0	17
Turbidez (UNT)	35,7	107,4	361	92,9	17
Sólidos sedimentáveis (mL/L)	-	< 1,0	-	0	11

Fonte: Do autor.

\* Desvio padrão;

\*\* Número de amostragens

Para os resultados dos parâmetros químicos (Tabela 09), pode-se observar que o pH apresentou valores em torno da neutralidade (média 7,3) e dentro do limite instituído pela resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005), de 5,0 a 9,0 para lançamento de efluentes.

Em termos dos constituintes relacionados às formas de nitrogênio e fósforo, de acordo com a resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005), não há padrões de lançamento para nitrito, nitrato e fósforo. Mesmo o padrão para nitrogênio amoniacal (20 mg/L) foi suspenso temporariamente pela Resolução CONAMA N° 397 (BRASIL,

2008; MOTA; SPERLING, 2009). Sendo assim, não existe um nível estabelecido de lançamento para esses parâmetros.

Na Tabela 09 observa-se que a concentração média de Nitrogênio Amoniacal foi de 3,6 mg/L, valores inferiores aos encontrados por Nirenberg e Reis (2010) que obtiveram 8,9 mg/L para Nitrogênio Amoniacal.

As concentrações de fósforo total nas amostras coletadas (0,4 mg/L) apresentaram valores acima do estabelecido pela resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005) para águas de classe 2, que seria de 0,05 mg/L. Porém, o resultado obtido em águas cinzas no presente estudo está abaixo do descrito por Nirenberg e Reis (2010) (1,3 mg/L), Borges (2003) (6,24 mg/L) e Fiori *et al*, (2006) (0,84 mg/L).

Tabela 09 - Resultados das características químicas – águas cinzas.

**ÁGUAS CINZAS – CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS**

Parâmetro	Mínimo	Média	Máximo	D.P.*	N**
Sólidos voláteis (mg/L)	25,0	109,7	164,0	38,3	8
Sólidos fixos (mg/L)	61,0	123,0	400,6	167,9	8
DBO (mg/L)	14	19	43	11,6	8
DQO (mg/L)	23,8	131,2	354,6	79,1	15
Salinidade (%)	-	< 0,1	-	0	8
Condutividade (mS/cm)	210	323	951	0,2	15
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	0,2	3,6	60,2	17,0	16
Fósforo Total (mg/L)	0,02	0,4	2,3	0,7	8
pH	6,9	7,3	7,8	0,3	20
Alcalinidade Total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	5,0	107,1	206,4	73,8	16
Cloretos (mg/L)	28,8	44,3	48,7	8,4	8

Fonte: Do autor.

\* Desvio padrão;

\*\* Número de amostragens

A concentração de cloretos nas análises realizadas (44,3 mg/L) está abaixo de 250 mg/L, que seria o valor estabelecido na resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005) para águas de classe 2, já que não existe esse padrão para lançamento de efluentes, verifica-se o exigido para conservar as características do corpo receptor. No entanto, os valores encontrados no presente estudo, estão dentro da margem encontrada na literatura, variando de 0,35 mg/L (BORGES, 2003) a 50,12 mg/L (FIORI *et al*, 2006).

Os resultados de DQO apresentaram uma média de 131,2 mg/L e os DBO uma média de 19 mg/L. Na literatura os valores para DBO variam de 59 a 273 mg/L, já para DQO variam de 158 a 522,3 mg/L (BORGES, 2003; FRIEDLER *et al*, 2005; FIORI *et al*, 2006 e NIRENBERG ; REIS, 2010). Sendo assim, os valores encontrados estão abaixo do detectado na literatura.

Com relação aos sólidos fixos e voláteis, as análises apresentam valores de 123,0 mg/L e 109,7 mg/L respectivamente. Nirenberg e Reis (2010), encontraram valores superiores aos supracitados, sendo 385,3 mg/L de sólido fixos e 201,7 mg/L de sólidos voláteis.

A alcalinidade obteve média de 107,1 mg/L. Nirenberg e Reis (2010), encontraram a média de 205,7 mg/L, valor acima ao detectado no presente trabalho.

A condutividade ficou em média 323 mS/cm. Nirenberg e Reis (2010), encontraram a média de 594,0 mS/cm, valor acima ao detectado no presente trabalho, porém dentro dos valores encontrados na margem de variação mínimo - máximo.

Nesse processo de caracterização é importante o comparativo com os resultados de outros autores para se ter um conceito da magnitude de variação que pode ocorrer devido às características que o usuário confere ao uso da água. As condições sociais e culturais de cada região podem dar características diferenciadas a água, sendo importante mais estudos para uma melhor caracterização da água cinza.

A água cinza caracterizada no presente trabalho não pode ser usada na irrigação de jardins sem antes passar por um processo de desinfecção para a remoção de patogênicos a níveis aceitáveis, pois se apresentou com qualidade bacteriológica baixa.

## **4.2 Águas Negras**

Os resultados das análises físico-químicas e biológicas das águas negras foram confrontados com os resultados obtidos por Rebouças *et al* (2007) para amostras de água negra bruta, cada uma composta por 6L de água, papel higiênico, fezes e 250 mL de urina e por resultados obtidos por Galbiati (2009) para amostras de águas provenientes apenas dos vasos sanitários.

Na Tabela 10, verificamos os resultados para coliformes totais ( $29 \times 10^5$  UFC) e termotolerantes ( $15 \times 10^5$  UFC). Esses valores elevados eram esperados levando em consideração que as águas negras no presente trabalho são provenientes do vaso sanitário e pia de cozinha. No entanto, em trabalho desenvolvido por Galbiati (2009), foram detectados  $1,65 \times 10^7$  NMP para coliformes totais e  $5,15 \times 10^6$  NMP para coliformes termotolerantes, valores acima aos encontrados no presente trabalho. Em adição, Rebouças *et al* (2007) encontraram valores ainda mais elevados aos supracitados,  $1,5 \times 10^9$  NMP.

Tabela 10 - Resultados das características biológicas – águas negras.

**ÁGUAS NEGRAS – CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS**

Parâmetro	Mínimo	Média*	Máximo	D.P.*	N***
Coliformes Totais (UFC x $10^5/100$ mL)	3	29	63	23,2	10
Coliformes Termotolerantes (UFC x $10^5/100$ mL)	6	15	22	5,8	10

Fonte: Do autor.

\* Média geométrica;

\*\* Desvio padrão;

\*\*\*Número de amostragens

A temperatura do experimento manteve-se próxima aos  $25^\circ\text{C}$ . A temperatura afeta os processos biológicos de diversas maneiras, mas principalmente no tocante ao crescimento dos microrganismos. A temperatura no interior da célula dos microrganismos é determinada pela temperatura ambiente externa. Alguns microrganismos se adaptam a uma dada temperatura que pode ser mais restritiva ao crescimento de outros (RAMOS, 2008). Sendo importante uma estabilidade nesse parâmetro.

Na Tabela 11 encontram-se os resultados para cor, turbidez e sólidos sedimentáveis. A turbidez (247,0 UNT) apresentou uma pequena oscilação durante o período de amostragem comparada a cor (411,8 uC), que, por sua vez, obteve uma variação de 227,8 a 826,4 uC. A cor é ocasionada pela presença, na água, de substâncias dissolvidas, ou finamente divididas (material em estado coloidal). Portanto, esse valor elevado era esperado já que ao segregar os efluentes, as águas negras recebem menor volume de solvente, tornando-se menos diluída.

Tabela 11 - Resultados das características físicas – águas negras.

<b>ÁGUAS NEGRAS – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS</b>					
<b>Parâmetro</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Média</b>	<b>Máxima</b>	<b>D.P.*</b>	<b>N**</b>
Cor Aparente (uC)	227,8	411,8	826,4	167,5	17
Turbidez (UNT)	131,0	247,0	446,0	82,7	17
Sólidos sedimentáveis (mL/L)	1,0	1,7	5,0	1,5	11

Fonte: Do autor.

\* Desvio padrão;

\*\* Número de amostragens

A turbidez é gerada pela presença de matérias sólidas em suspensão, para o esgoto, principalmente matéria orgânica e inorgânica finamente divididas e organismos microscópicos. Para este parâmetro, Galbiati (2009) obteve como média 481,04 UNT, com desvio padrão de 291,35. Dessa forma, os resultados se assemelham aos apresentados no presente estudo (247,0 UNT). Com relação aos sólidos sedimentáveis foi encontrada uma média de 1,7 mL/L, esse valor elevado era esperado pela grande quantidade de carga orgânica destinada as águas negras. Em termos dos constituintes químicos, os resultados encontram-se na Tabela 12. Para sólidos voláteis (356,0 mg/L) e sólidos fixos (291,0 mg/L) houve grande oscilação dos resultados durante o período de amostragem. Rebouças *et al* (2007), obtiveram como resultado para sólidos voláteis 337,0 mg/L.

Com relação a DBO (69,0 mg/L) e DQO (421,2 mg/L), os resultados encontrados na literatura estão díspares com os verificados no presente trabalho. Para DBO verifica-se médias de 1893 mg/L (REBOUÇAS *et al*, 2007), entre 2000 a 3000 mg/L (PANIKKAR *et al*, 2003) e 360,88 mg/L (GALBIATI, 2009), sendo este último o mais próximo do resultado encontrado.

Já a DQO, na literatura possui médias de 6695 mg/L (REBOUÇAS *et al*, 2007), de 2000 a 6000 mg/L (PANIKKAR *et al*, 2003) e 723,46 mg/L (GALBIATI, 2009).

Pelo fato do esgoto estudado ser recém formado, as partículas sólidas não se encontravam totalmente dissolvidas, criando uma coluna líquida de menor concentração de matéria orgânica entre as camadas de sólidos flotados e a de sólidos decantados. Todas as coletas foram realizadas nessa massa líquida de menor concentração, o que pode justificar os baixos valores encontrados nas análises de DQO e DBO, apesar de o menor volume de água descartado na forma

de águas negras resultar em águas residuárias com elevadas concentrações de poluentes.

Tabela 12 - Resultados das características químicas – águas negras.

**ÁGUAS NEGRAS – CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS**

<b>Parâmetro</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Média</b>	<b>Máximo</b>	<b>D.P.*</b>	<b>N**</b>
Sólidos voláteis (mg/L)	90,0	356,0	700,0	185,3	8
Sólidos fixos (mg/L)	60,0	291,0	402,0	113,8	7
DBO (mg/L)	20	69,0	125	35,1	8
DQO (mg/L)	165,6	421,2	828,0	219,3	15
Salinidade (%)	0,2	0,5	0,7	0,2	8
Condutividade (mS/cm)	438	731	1440	0,3	15
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	9,4	24,7	74,2	19,3	12
Fósforo Total (mg/L)	0,8	3,8	11,2	3,3	11
pH	6,8	7,3	7,8	0,3	20
Alcalinidade Total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	19,0	336,1	828,0	250,3	16
Cloretos (mg/L)	19,0	67,2	129,8	27,1	17

Fonte: Do autor.

\* Desvio padrão;

\*\* Número de amostragens

A condutividade era próxima de 731 mS/cm. Foram encontrados 24,7 mg/L de nitrogênio amoniacal, porém Galbiati (2009) encontrou em seu trabalho 326,85 mg/L do mesmo parâmetro. Para fósforo (3,8 mg/L), Rebouças *et al* (2007) obtiveram como média 22,5 mg/L.

O pH manteve-se próximo a neutralidade (7,3). Esses valores corroboram com os apresentados tanto por Galbiati (2009) quanto Rebouças *et al* (2007), que obtiveram pH com média de 7,8. O nitrogênio amoniacal (24,7 mg/L) ficou acima do que era estabelecido para lançamento de efluentes pela CONAMA 357 (BRASIL, 2005), porém este parâmetro foi suspenso pela CONAMA 397 (BRASIL, 2008), ficando o mesmo sem um padrão definido.

A alcalinidade (336,1 mgCaCO<sub>3</sub>/L) oscilou bastante durante o período de amostragem, possuindo um desvio padrão de 250,3. Porém, com a estabilidade do pH comprova-se a boa capacidade de tamponamento. Por outro lado, cloretos (67,2 mg/L) apresentaram menor variação, possuindo desvio padrão de 27,2. Nesse sentido, Galbiati (2009) encontrou resultados superiores para alcalinidade (816,0 mgCaCO<sub>3</sub>/L), para cloretos, o resultado obtido foi de 141,38 mg/L, relativamente

próximo ao apresentado no presente trabalho, ao considerar o desvio padrão de 83,3.

Observa-se que existe uma carência na literatura para caracterização com experimentos *in loco* das águas provenientes das pias de cozinha como águas negras. Logo, foram verificadas algumas diferenças em determinados parâmetros provavelmente pelo fato da composição da água negra em estudo agregar este efluente, havendo assim uma maior diluição da água negra estudada quando comparada aos estudos de caso referidos na literatura.

### **4.3 Reator Anaeróbio Horizontal com Chicanas e Meio Suporte – RACH**

Os resultados das análises físico-químicas e biológicas do RACH foram confrontados com os resultados obtidos por Mazzola *et al* (2002), em reator anaeróbio compartimentado. Também foi comparado com resultados alcançados por Barboza *et al* (2005), em reator Anaeróbio Horizontal com Chicanas (RAHC) de bancada com leito fixo composto por cubos de espuma de poliuretano e substrato com composição semelhante ao esgoto doméstico.

Em sequência comparou-se com resultados obtidos por Abreu e Zaiat (2008) e Abreu Neto e Oliveira (2009) que trabalharam em reator anaeróbio dividido em quatro compartimentos de igual volume, com meio suporte de espuma de poliuretano utilizando esgoto sanitário proveniente do Campus Universitário como afluente e em sistema de tratamento constituído por dois reatores anaeróbios (compartimentado com três câmaras e UASB) em escala-piloto, instalados em série, com alimentação de dejetos brutos de suínos, respectivamente.

Analisando os resultados dos exames biológicos (Tabela 13), para as águas negras na saída do reator e comparando os mesmos com os valores obtidos para as águas negras na entrada, nota-se uma remoção de 32,4 % para os coliformes totais e de 54,9% para os termotolerantes.

Em reator anaeróbio compartimentado sem meio suporte, Abreu Neto e Oliveira (2009) obtiveram, em relação à remoção de coliformes totais e termotolerantes, remoções de até 99,59%. Valor bem superior ao determinado no presente trabalho, mas, segundo os autores, isto ocorreu pelo fato de no início da operação a primeira câmara trabalhar quase que como um tanque de sedimentação.



Sabe-se que os sistemas anaeróbios de tratamentos biológicos possuem baixa eficiência de remoção de organismos patogênicos, desse modo os resultados alcançados eram os aguardados para o sistema de tratamento proposto.

Tabela 13 - Índice de remoção de coliformes no RACH.

<b>RACH – CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS</b>				
<b>Parâmetro</b>	<b>Entrada*</b>	<b>Saída*</b>	<b>D.P.**</b>	<b>% Remoção</b>
Coliformes Totais (UFC x 10 <sup>5</sup> /100 mL)	28,7	19,4	22,15	32,4
Coliformes Termotolerantes (UFC x 10 <sup>5</sup> /100 mL)	14,4	6,5	22,9	54,9

Fonte: Do autor.

\* Média geométrica;

\*\* Desvio padrão;

Com relação às características físicas, a temperatura manteve-se estável permanecendo próxima a 25°C. Em tratamentos anaeróbios, o processo deve ocorrer preferencialmente na faixa mesofílica (20 – 40°C), para um bom desenvolvimento das bactérias metanogênicas.

Na Tabela 14 estão descritos os resultados encontrados para os parâmetros físicos. Cor e turbidez, os quais apresentaram redução de 42,7% e 16,1%, respectivamente, nas Figuras 25 e 26, pode-se observar a variação das características físicas supracitadas durante o período de amostragens.

Para os sólidos sedimentáveis, o RACH abrangeu uma eficiência de aproximadamente 94%, deixando o efluente final dentro do exigido pela CONAMA 357 (BRASIL, 2005) para lançamento de efluentes (<1,0 mL/L).

Tabela 14 - Caracterização física - RACH.

<b>RACH – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS</b>				
<b>Parâmetro</b>	<b>Entrada*</b>	<b>Saída*</b>	<b>D.P.**</b>	<b>% Remoção</b>
Cor Aparente (uC)	411,8	235,8	80,7	42,7
Turbidez (UNT)	247,0	207,3	120,2	16,1
Sólidos sedimentáveis (mL/L)	1,7	<0,1	0,0	~ 94,0

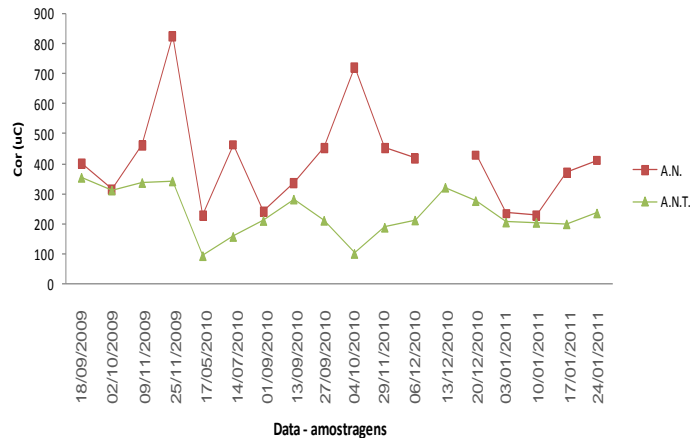
Fonte: Do autor.

\* Desvio padrão;

\*\* Número de amostragens

Fica evidente a grande oscilação durante o período experimental de tais parâmetros. A colocação do meio suporte se deu a partir da amostra do dia 01/09/2010. Apesar da casca de coco dar um tom esverdeado ao efluente final (Figura 24), os resultados permaneceram semelhantes aos encontrados antes de sua adição.

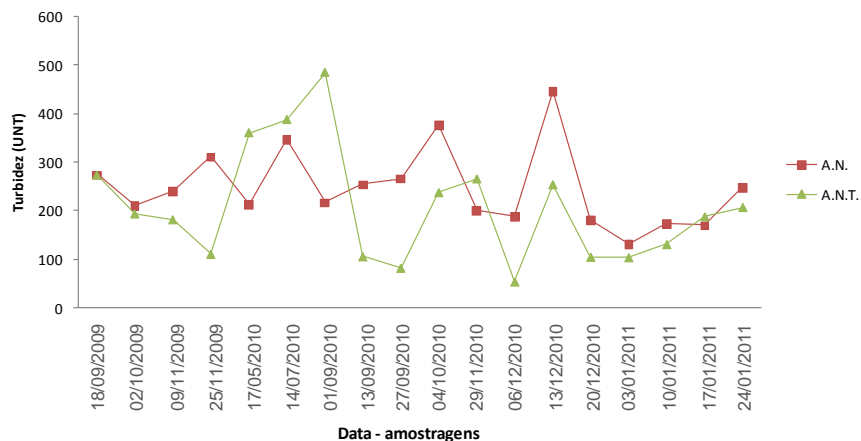
Figura 25 - Variação do parâmetro cor (uC) durante o período de amostragem.



Legenda: A.N. = Água Negra; A.N.T. = Água Negra Tratada; UC = Unidade de Cor.  
Fonte: Do autor.

Na Figura 26, nota-se um alto índice de turbidez na amostra da data 01/09/2010, tal fato pode ser atribuído a colocação do meio suporte casca de coco verde, porém verificamos certa estabilidade nos resultados em seguida, estando a água negra tratada, na maioria das vezes, com turbidez abaixo da água negra sem tratamento.

Figura 26 - Variação do parâmetro turbidez (UNT) durante o período de amostragem.



Legenda: A.N. = Água Negra; A.N.T. = Água Negra Tratada; UNT = Unidade Nefelométrica de Turbidez.  
Fonte: Do autor.

Os parâmetros químicos estão descritos na Tabela 15. Para os sólidos voláteis e fixos não há uma legislação pertinente, os resultados obtidos foram de 229,5 mg/L e 297,5 mg/L respectivamente, na saída do sistema.

Tabela 15 - Caracterização química – RACH.

<b>RACH – CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS</b>				
<b>Parâmetro</b>	<b>Entrada*</b>	<b>Saída*</b>	<b>D.P.**</b>	<b>% Remoção</b>
Sólidos voláteis (mg/L)	356,0	229,5	293,1	35,5
Sólidos fixos (mg/L)	291,0	297,5	154,8	-
DBO (mg/L)	69,0	24,0	13,0	65,2
DQO (mg/L)	421,2	161,3	96,6	61,7
Salinidade (%)	0,5	0,5	0,1	-
Condutividade (mS/cm)	731,0	950,0	0,4	-
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	24,7	23,8	184,1	3,6
Fósforo Total (mg/L)	3,8	4,0	2,0	-
pH	7,3	7,4	0,3	-
Alcalinidade Total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	336,1	199,9	142,9	40,5
Cloretos (mg/L)	67,2	90,0	42,4	-

Fonte: Do autor.

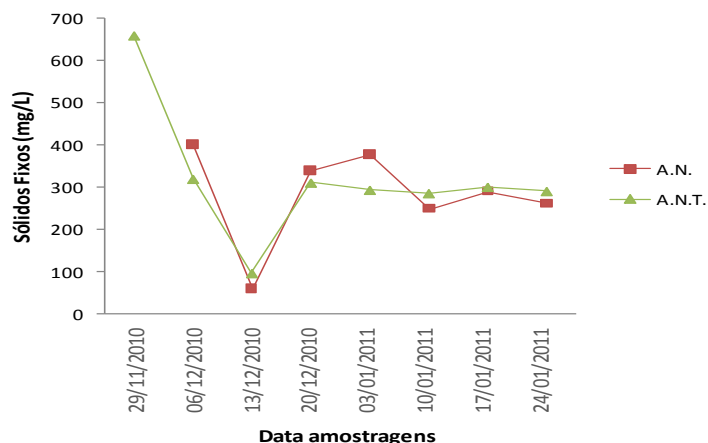
\* Desvio padrão;

\*\* Número de amostragens

A eficiência alcançada foi de 35,5% para a remoção dos sólidos voláteis, já para os sólidos fixos houve um incremento de 2,2% (Figura 27). Isto pode ser um indicador de que o meio suporte continua retendo sólidos voláteis no sistema, aumentando assim a atividade microbiana, já que tais análises foram realizadas após a colocação da casca de coco verde.

Barboza *et al* (2005) obtiveram uma variação na concentração de sólidos voláteis de 97 mg/L a 177 mg/L, demonstrando grande capacidade do sistema em reter ou hidrolisar sólidos. No sistema em estudo, ocorreu uma maior variação, de 40 mg/L a 980 mg/L (Figura 28).

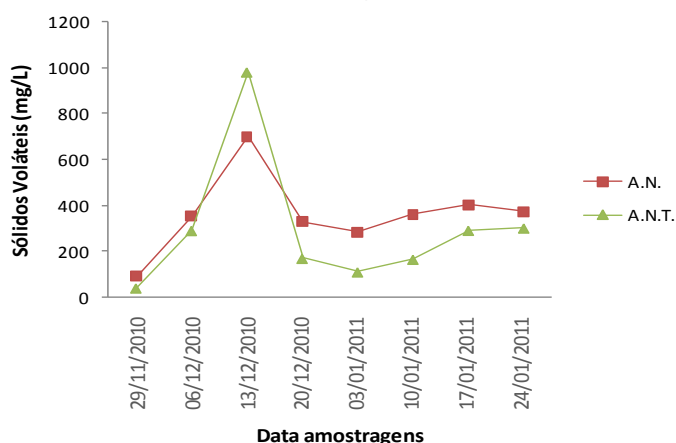
Figura 27 - Variação do parâmetro Sólidos Fixos (mg/L) durante período de amostragens.



Legenda: A.N. = Água Negra; A.N.T. = Água Negra Tratada.

Fonte: Do autor.

Figura 28 - Variação do parâmetro Sólidos Voláteis (mg/L) durante período de amostragens.



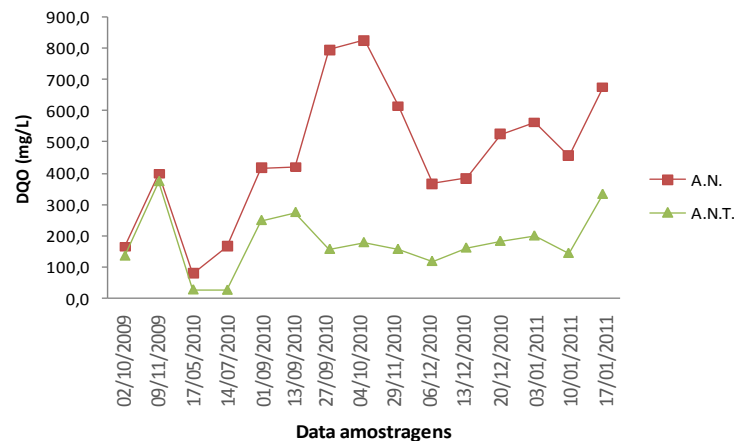
Legenda: A.N. = Água Negra; A.N.T. = Água Negra Tratada.

Fonte: Do autor.

Com os dados de DQO, foi calculada a eficiência do tratamento, que ficou próxima a 62%. Em sistema semelhante, Abreu e Zaiat (2008) averiguaram uma remoção média de DQO de 64%. Em adição, Barboza *et al* (2005), obtiveram uma eficiência de remoção média de DQO de 77,9%, entretanto, segundo os autores, este alto índice ocorreu pelo fato do experimento ter sido realizado em escala de bancada, fazendo com que o manejo seja mais fácil, sendo possível efetuar o controle de temperatura (25°C). Portanto, os valores de eficiência do sistema abaixo do supracitado eram esperados em escala piloto.

A Figura 29 apresenta a variação da DQO durante o período de amostragem. Na mesma figura constata-se uma maior eficiência a partir da colocação do meio suporte a partir da amostra de número 7.

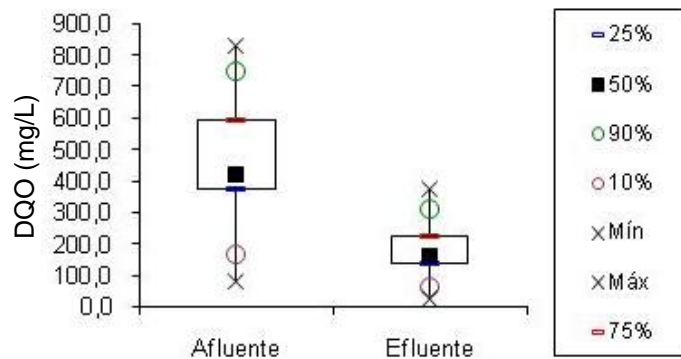
Figura 29 - Variação do parâmetro DQO (mg/L) durante período de amostragens.



Legenda: A.N. = Água Negra; A.N.T. = Água Negra Tratada, DQO = Demanda Química de Oxigênio.  
Fonte: Do autor.

Na Figura 30 pode-se observar que há uma alta dispersão nos dados do afluente (entrada), e baixa dispersão nos do efluente (saída). Analisando o afluente nota-se que a maioria dos resultados obtidos ficou acima da média 421,2 mg/L. Os dados obtidos no efluente demonstram uma maior estabilidade, estando a maioria dos resultados próxima a média de 161,3 mg/L.

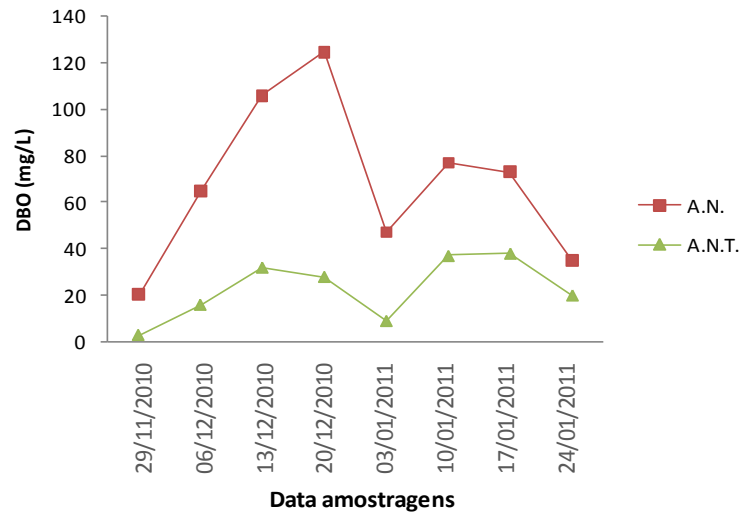
Figura 30 - Variação do parâmetro DQO (mg/L) durante período de amostragens 2.



Legenda: A.N. = Água Negra; A.N.T. = Água Negra Tratada, DQO = Demanda Química de Oxigênio.  
Fonte: Do autor.

Os resultados encontrados para DBO, definiram um índice de remoção em torno de 65,2%, confirmando a eficiência determinada através da DQO. Na figura 31, pode-se observar a variação durante o período amostral de oito semanas, todos esses dados foram obtidos após a colocação do meio suporte.

Figura 31 - Variação do parâmetro DBO (mg/L) durante período de amostragens.



Legenda: A.N. = Água Negra; A.N.T. = Água Negra Tratada, DBO = Demanda Bioquímica de Oxigênio.

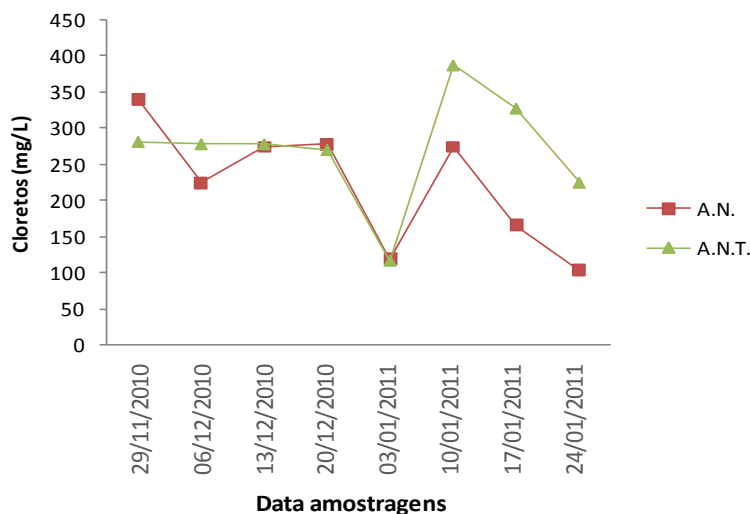
Fonte: Do autor.

Houve um leve incremento nos valores encontrados na saída do sistema para a condutividade, os cloretos e o nitrogênio amoniacal. A média para a condutividade na saída do sistema foi de 950 mS/cm.

O cloreto na entrada do sistema era de 67,2 mg/L, já na saída foi de 90,0 mg/L (Figura 32). Galbiati (2009), trabalhando apenas com água negra em tanque de evapotranspiração, para cloretos encontrou uma média de 141,40 mg/L no interior do sistema de tratamento e na saída uma média de 154,0 mg/L. Sendo os valores próximos aos encontrados no presente trabalho, ao considerar o desvio padrão de aproximadamente 90.

A remoção de nitrogênio amoniacal foi desprezível, estando em torno de 3,5%, tal resultado é considerado adequado, já que sistemas de tratamentos anaeróbios não realizam o processo de nitrificação. Analisando a remoção de fósforo obtemos o mesmo resultado, pode-se observar isso na Figura 33, a qual permite notar que se tem praticamente os mesmos valores na entrada e saída do sistema.

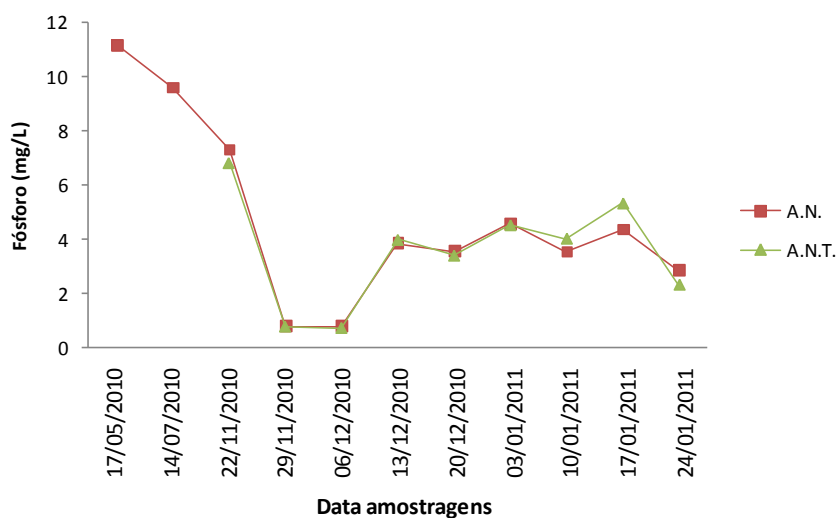
Figura 32 - Variação do parâmetro Cloretos (mg/L) durante período de amostragens.



Legenda: A.N. = Água Negra; A.N.T. = Água Negra Tratada.

Fonte: Do autor.

Figura 33 - Variação do parâmetro Fósforo (mg/L) durante período de amostragens.

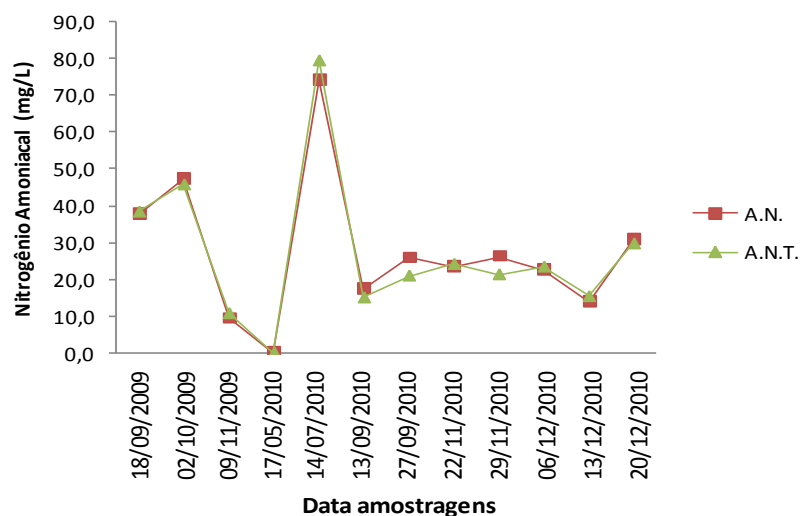


Legenda: A.N. = Água Negra; A.N.T. = Água Negra Tratada.

Fonte: Do autor.

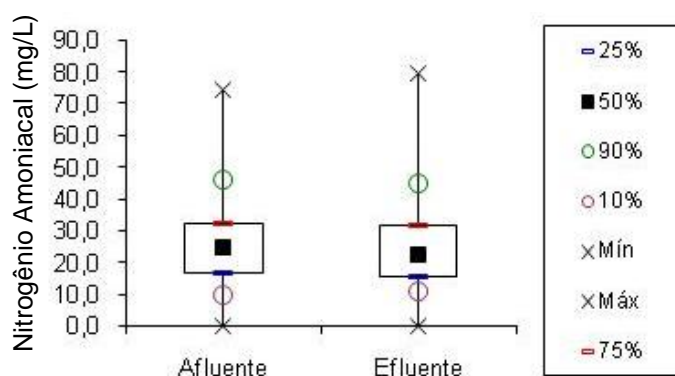
A Figura 34 apresenta a variação do nitrogênio amoniacal (mg/L) durante o período experimental, mostrando uma estabilidade na entrada e saída do sistema. Através da Figura 35, percebe-se que há uma alta dispersão nos dados tanto do afluente (entrada), quanto do efluente (saída), mas pode-se afirmar que a maioria dos resultados ficaram próximos a média de 24,7 mg/L para o afluente e 23,8 mg/L no efluente.

Figura 34 - Variação do parâmetro Nitrogênio Amoniacal (mg/L) durante período de amostragens.



Legenda: A.N. = Água Negra; A.N.T. = Água Negra Tratada.  
Fonte: Do autor.

Figura 35 - Variação do parâmetro Nitrogênio Amoniacal (mg/L) durante período de amostragens 2.



Legenda: A.N. = Água Negra; A.N.T. = Água Negra Tratada.  
Fonte: Do autor.

Os dados obtidos de nitrogênio amoniacal demonstram que no ponto de coleta dentro da primeira câmara, o nitrogênio orgânico já tinha sido convertido a amoniacal ou o efeito de flotação da matéria sólida pode ter influenciado no resultado de entrada.

O pH efluente (7,4) manteve-se estável e próximo a neutralidade, apresentando valor mínimo de 6,8 na entrada e máximo de 7,8 na saída do sistema. A atividade dos microrganismos anaeróbios metanogênicos é bastante sensível ao valor do pH; uma taxa elevada de metanogênese desenvolve-se apenas quando

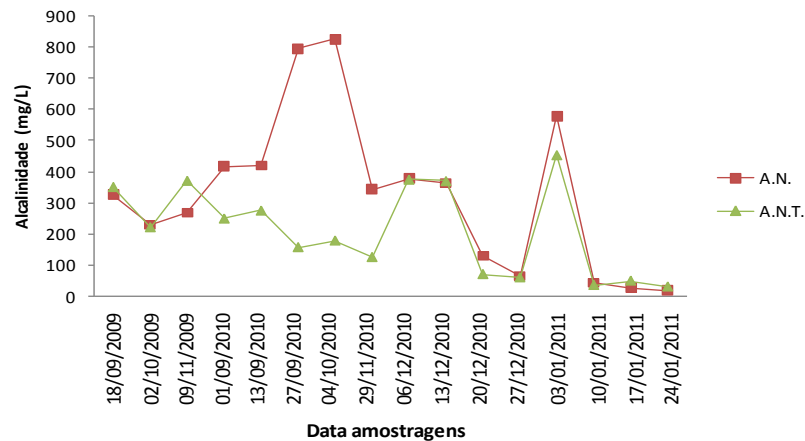


pH se mantém em uma faixa estreita, próxima do valor neutro. Se o pH tiver valor menor que 6,3 ou superior a 7,8, a taxa de metanogênese diminui rapidamente (VAN HAANDEL; LETTINGA, 1999).

Dessa maneira, o pH está dentro da margem ótima de funcionamento para um reator anaeróbio. Resultado semelhante foi obtido em RACH estudado por Barboza *et al* (2005), cujo efluente apresentou, durante todo período experimental, valores de pH entre 6,8 e 7,4. Nesse sentido, Mazzola *et al* (2002) também encontraram estabilidade do afluente e do efluente dos dois compartimentos, com valores próximos da neutralidade.

O nível de alcalinidade apresentou redução de 40,5% de quando comparados os resultados da entrada (336,1 mgCaCO<sub>3</sub>/L) e saída (199,9 mgCaCO<sub>3</sub>/L) do sistema (Figura 36). A alcalinidade total, correlaciona todos os compostos capazes de neutralizar ácidos, incluindo-se, entre outros, os íons carbonatos, os bicarbonatos e os ácidos orgânicos voláteis (SILVA; NOUR, 2005). Apesar da redução, o pH manteve-se próximo a neutralidade, caracterizando apropriada a capacidade de tamponamento do sistema proposto.

Figura 36 - Variação do parâmetro Alcalinidade (mg/L) durante período de amostragens.



Legenda: A.N. = Água Negra; A.N.T. = Água Negra Tratada.

Fonte: Do autor.

#### 4.4 Custo de Implantação

Para a habitação em estudo, caso apresentasse seu sistema hidrossanitário construído convencionalmente, seriam gastos R\$ 20.369,90 com tubulações e a execução de sistema convencional de tratamento – fossa séptica. Por outro lado,

como houve especificidades em seu projeto, para a execução com segregação dos efluentes e construção do sistema de tratamento proposto, foram gastos R\$ 22.234,45.

A diferença de R\$ 1.864,55 advém, principalmente, da construção do sistema de tratamento proposto, que incrementa em R\$ 1.491,65 o valor da obra ao não utilizar a fossa séptica. Este fato, porém, não traz grande interferência no valor global da mesma, tendo em vista que a execução do hidrossanitário foi responsável, aproximadamente, por apenas 6% do valor total da obra.

Na Tabela 16, segue o orçamento com sistema convencional e o proposto neste trabalho. Os referidos orçamentos foram realizados com base nos dados do sistema de Orçamento de Obras de Sergipe (ORSE) – outubro/2010.

Tabela 16: Orçamento do projeto hidrossanitário convencional e proposto.

Descrição	Total (R\$)	Total (R\$)
	Convencional	Proposto
Instalação de água-fria	1.634,04	1.634,04
Registros e válvulas	2.415,94	2.415,94
Instalação de esgoto sanitário	12.245,93	13.737,58
Sub-Total (Serviços e Materiais Obra)	16.295,92	17.787,56
Valor do BDI (25%)	4.073,98	4.446,89
<b>VALOR TOTAL</b>	<b>R\$ 20.369,90</b>	<b>R\$ 22.234,45</b>

Fonte: Do autor.

Levando-se em consideração o baixo custo de implantação para uma residência de alto padrão, o retorno econômico com a utilização das águas cinzas para irrigação de jardins seria quase imediato. Porém, com os resultados das análises microbiológicas do presente trabalho, constatou-se a impossibilidade do uso das águas cinzas sem um tratamento prévio, sendo necessário adotar alguma das recomendações da NBR 13.969 (1997), para tornar viável o reuso.

Seria necessário a construção da rede de reuso, bem como de um sistema de tratamento para colocar as águas cinzas dentro dos níveis recomendados pela OMS e USEPA. Logo, esse tratamento teria que ter seu valor agregado ao supracitado para obtermos um custo mais verídico e assim poder estimar a economia financeira e hídrica ao realizar o reuso das águas cinzas. Estima-se que haveria um incremento de 10% no valor total da obra.

Como manutenção, seriam necessárias análises periódicas para constatação da eficiência do sistema, tais custos devem ser contabilizados. Deve-se, entretanto,

ter consciência que a maior economia ao utilizar águas de menor qualidade para fins não potáveis, é a do recurso hídrico, cujo gasto com água potável estará sendo reduzido entre 15 a 30% (GONÇALVES, 2006), destes, 8% na irrigação de jardins<sup>7</sup>.

---

<sup>7</sup> Fonte: [www.agua.bio.br](http://www.agua.bio.br), acesso em 14/12/2010, às 15:25:47.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A água cinza analisada é um efluente doméstico com baixa qualidade bacteriológica, pois apresenta um alto valor de coliformes termotolerantes. O alto índice de turbidez, juntamente com os de coliformes, comprova a necessidade e a importância de um tratamento adequado para a redução dos parâmetros aos níveis aceitáveis. Para lançamento de efluentes, os constituintes temperatura, pH e os sólidos sedimentáveis estão aceitáveis.

Com os resultados obtidos no presente trabalho, não pode haver reuso das águas cinzas, sem antes as mesmas passarem por um processo de desinfecção para a redução de coliformes.

Em uma residência unifamiliar, ao utilizar o sistema de reuso só para irrigação de jardins, haveria uma economia do recurso hídrico próxima a 10%, porém, como neste caso seria necessário o tratamento para desinfecção, pode-se pensar no reuso para vasos sanitários também, possibilitando o aumento dessa economia para cerca de 30%.

Com a segregação dos efluentes, a água negra torna-se um efluente de alta carga orgânica. Parâmetros como pH e temperatura estão dentro dos níveis permitidos para lançamento.

O modelo de reator estudado apresentou baixa redução de coliformes, porém, sendo uma tipologia de tratamento anaeróbio, este resultado era esperado. Houve também baixa redução de turbidez isso pode ser atribuído a inserção do meio suporte casca de coco verde no sistema, porém sua inserção contribuiu com a redução de sólidos sedimentáveis, que foi satisfatória, aproximadamente 94%.

Quanto à DQO, sua eficiência de remoção ficou próxima a 62%, este resultado foi considerado satisfatório para um sistema de tratamento anaeróbio, cujo

efluente tratado era de alta carga orgânica, tal índice foi incrementado com a colocação do meio suporte e conseqüente acréscimo do nível de microrganismos no RACH. Logo, o emprego da casca de coco verde como meio suporte foi viável e satisfatório.

O pH permaneceu dentro de uma margem ótima para o funcionamento do sistema, a alcalinidade contribuiu com tal acontecimento indicando a adequada capacidade de adaptação do mesmo.

O sistema é bastante simplificado, não há necessidade de manutenção periódica. Como também não há sistema operacional, deve-se seguir recomendação da NBR 13.969 (1997) quanto à limpeza e a verificação da eficiência do sistema.

A segregação das águas residuárias em águas cinzas e águas negras e a construção do RACH, agregaram um valor adicional na construção final. Tal custo foi considerado baixo para uma residência de alto padrão, sendo este um acréscimo de 0,5% do valor total da obra.

Diante do exposto no presente trabalho, percebe-se a necessidade de uma maior responsabilidade com a gestão dos recursos hídricos, incluindo a gestão com o descarte dos efluentes gerados pelo uso da água. O gerenciamento racional das águas residuárias pode resultar em significativa economia de água potável nas residências e redução da eutrofização de corpos de água. É de fundamental importância a conscientização do usuário para a promoção da sustentabilidade no meio.

Nota-se a necessidade de estudos de tratamentos simplificados para as águas cinzas, facilitando assim seu reuso seguro em unidades habitacionais unifamiliares.

Seria interessante a passagem do efluente do RACH em reator aeróbio para uma maior eficiência quanto à carga orgânica e em processo de filtração ou desinfecção, possivelmente com pastilhas de cloro, devido ao custo e a facilidade de operação, para a redução até os níveis aceitáveis dos microrganismos patogênicos.

## REFERÊNCIAS

ABREU NETO, M. S. DE; OLIVEIRA, R. A. de. Remoção de matéria orgânica, de nutrientes e de coliformes no processo anaeróbio em dois estágios (Reator Compartimentado Seguido de Reator UASB) para o Tratamento de Águas Residuárias de Suinocultura. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n.1, p.148-161, jan/mar. 2009.

ABREU, S. B., ZAIAT, M. Desempenho de reator anaeróbio-aeróbio de leito fixo no tratamento de esgoto sanitário. **Revista de Engenharia Sanitária Ambiental**, v.13, n. 2, p. 181-188, abr/jun. 2008.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conservação e Reuso da Água em Edificações**. Ed. Gráfica, São Paulo, 2005.

ALAGOAS. Lei N<sup>o</sup> 5.965, de 10 de novembro de 1997. Dispõe sobre a política estadual de recursos hídricos. Institui o sistema estadual de gerenciamento integrado de recursos hídricos e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de Alagoas**, 11 de Nov. 1997.

ALMEIDA, G. S. **Metodologia para caracterização de efluentes domésticos para fins de reuso: estudo em Feira de Santana, Bahia**. 2007. 226 f. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) - Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, Salvador-BA, 2007.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21 ed., Washington-USA, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 9648**: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1986.

\_\_\_\_\_. **NBR 7229**: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 13969**: Tanques sépticos - unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.

\_\_\_\_\_. **NBR 8160**. Instalações prediais de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1999.

ASSOCIAÇÃO GUARDIÃ DA ÁGUA. Usos múltiplos da água. Disponível em: <[www.agua.bio.br](http://www.agua.bio.br)>, acesso em 14/12/2010, 10:18:55.

ÁVILA, R. O. **Avaliação do desempenho de sistemas tanque séptico-filtro anaeróbio com diferentes tipos de meio suporte**. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

AZEVEDO, B. de S. M. et al (Coord.). **Utilização da fibra da casca de coco verde como suporte para a formação de biofilme visando o tratamento de efluentes**. Série Tecnologia Ambiental, Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008.

AZEVEDO, N. J. D. et al. Uma ferramenta da gestão da qualidade como indicativo da sustentabilidade da habitação popular– pesquisa de satisfação do usuário. . In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - SIMPEP, 13, 2006. **Anais...** Bauru, SIMPEP, 2006.

BARBER, W.P.; STUCKEY, D.C. The use of anaerobic baffled reactor (ABR) for the wastewater treatment: a review. **Water Research**, Oxford, v.33, n.7, p. 1559-1578.1999.

BARBIRATO, G. et al. Análise de Perfis Térmicos Urbanos em Maceió – Al. In.: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9, 2002, Foz do Iguaçu – PR. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2002.

\_\_\_\_\_. **Análise do Clima Urbano de Maceió-Al: Comparações entre Diversas Escalas**. [200-?]. Disponível em: <<http://www.cbmet.com/cbm-files.pdf>>, acesso em 16/12/2010, 08:28:58.

BARBOZA, M. G. et al. Desenvolvimento de Reator Anaeróbio Horizontal com Chicanas para tratamento de esgoto sanitário. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23, 2005, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande; Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.

BARRETO, D. Perfil do consumo residencial e usos finais da água. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 23-40, abr/jun. 2008.

BedZED (Beddington Zero Energy Development). Disponível em: <[www.greenroofs.com/projects](http://www.greenroofs.com/projects)>, acesso em 01/12/2010, 09:48;39.

BORGES, L. Z. **Caracterização da água cinza para promoção da sustentabilidade dos recursos hídricos**. 2003. 91 f. Dissertação (mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

BRAGA, B. et al. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 2. ed. São Paulo, Pearson Prentice Hall, 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Portaria nº 44, de 13 de fevereiro de 2008. Comitê Gestor Nacional de Produção e Consumo Sustentável, **Plano de Ação para Produção e Consumo Sustentáveis** - Versão Para Consulta Pública. Set. 2010.

\_\_\_\_\_. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução Nº 397, de 2008. Altera o inciso II do § 4.º e a Tabela X do § 5.º, ambos do art. 34 da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente Nº 357, de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Resoluções vigentes publicadas entre julho de 1984 e novembro de 2008: 2. ed. **Conselho Nacional do Meio Ambiente**. Brasília, DF, 2008.

\_\_\_\_\_. Lei Nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei Nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 5 jan. 2007.

\_\_\_\_\_. Decreto de 22 de Março de 2005. Institui a Década Brasileira da Água, a ser iniciada em 22 de março de 2005. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 23 mar. 2005.



BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 mar. 2005.

\_\_\_\_\_. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução Nº 54 - Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 9 mar. 2005.

\_\_\_\_\_. Lei Nº 9433, de 08 de janeiro de 1997. Dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 09 jan. 1997.

CÂMARA MUNICIPAL DE MACEIÓ. Lei Nº 4.548, de 21 de novembro de 1996. Institui o Código Municipal de Meio Ambiente e dispõe sobre a administração do uso dos recursos ambientais, da proteção da qualidade do meio ambiente, do controle das fontes poluidoras e da ordenação do uso do solo do território do Município de Maceió, de forma a garantir o desenvolvimento sustentável. **Prefeitura Municipal de Maceió**, 04 mai. 1994.

CAMPOS, J. R. (Coord.). **Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo**. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro : ABES, 1999.

CERQUEIRA, L. L., Desenvolvimento de Heliconia psittacorum e Gladiolus hortulanus irrigados com águas residuárias tratadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 6, p. 606–613. 2008.

CHERNICHARO, C. A. de L. **Reatores Anaeróbios**. Belo Horizonte, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, v. 5, 1997.

\_\_\_\_\_. (Coord.). **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios: coletânea de trabalhos técnicos**. Projeto PROSAB. Belo Horizonte: ABES, 2001.

Coco. Disponível em: <[www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/coco/coco-1.php](http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/coco/coco-1.php)>, acesso em 18/03/2011, 17:28:38.

COHIM, E.; KIPERSTOK, A. Uso de Água Cinza para Fins não Potáveis: um Critério Racional para Definição da Qualidade. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24, 2007, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007.

CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1992, Rio de Janeiro. **Agenda 21...** Brasília: Senado Federal, Subsecretaria de Edições Técnicas, 1996.

CRUZ, L. M. de O. et al. Comparação entre o Período de Partida de Dois Filtros Anaeróbios com Leito de Coco Verde (*Cocos Nucifera*): Influência do Inoculo. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 25, 2009, Recife. **Anais...** Recife: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2009.

Edifício Cidade Nova – RJ. Disponível em: <[www.revistainfra.com.br](http://www.revistainfra.com.br)>, acesso em 01/12/2010, 07:28:44.

FIORI, S. et al. Avaliação qualitativa e quantitativa do reúso de águas cinzas em edificações. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p. 19-30. jan/mar. 2006.

FONSECA, A. F. da et al. Agricultural use of treated sewage effluents: agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. **Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)**, v. 64, n. 2, p.194-209, Mar/Apr. 2007.

FRIEDLER, E.; KOVALIO, R.; GALIL, N.I. On-site greywater treatment and reuse in multi-storey buildings. **Water Science & Technology**, Áustria, v. 51, n. 10, p. 187-194. 2005.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de saneamento**. 3ª ed., Brasília, Fundação Nacional da Saúde, 2006.

GALBIATI, A. F. **Tratamento domiciliar de águas negras através de tanque de evapotranspiração**. 2009. 38 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Campo Grande, 2009.

GIDEON P. W., et al. A study of the microbial quality of grey water and an evaluation of treatment technologies for reuse. **Ecological Engineering**, n. 32, p. 187-197. 2008.

GONÇALVES, R. F. et al (Coord.). **Desinfecção de efluentes sanitários**. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003.

---

GONÇALVES, R. F. et al (Coord.). **Uso Racional da Água em Edificações**. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

\_\_\_\_\_. **Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água**. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

Green Building Council Brasil – Certificação. Disponível em: <[www.gbcbrazil.org.br/pt/certificacao](http://www.gbcbrazil.org.br/pt/certificacao)>, acesso em 01/12/2010, 09:48/39.

IDEA. **Água, Um recurso cada vez mais ameaçado**. 2002. Disponível em: <[www.idec.org.br/biblioteca](http://www.idec.org.br/biblioteca)>. Acesso em 28/10/2010, 16:45:35.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Rio de Janeiro, 2008.

JORDÃO, P.J.; PESSOA, C.A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 4 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2005.

LUIZ, F. A. R. **Desempenho de reatores anaeróbios de leito fixo no tratamento de águas residuárias da lavagem e descascamento/despolpa do fruto cafeeiro**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2007.

LUNA, M. L. D. DE et al. Tratamento anaeróbio de resíduos orgânicos com baixa concentração de sólidos. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n.1, 2009.

MACIEL, A. A. et al. Projeto casa eficiente: Demonstração de eficiência energética em habitação unifamiliar. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ENTAC, 11, 2006, Florianópolis. **Anais...**Florianópolis: ENTAC, 2006.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. (Ed.). **Reuso de Água**. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, ABES, 2003.

MAZZOLA, M. et al. Projeto de implantação de um sistema de baixo custo para tratamento de águas residuárias: Reator anaeróbio compartimentado seguido de leitos cultivados de fluxo vertical. In: SIMPÓSIO ÍTALO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL – SIBESA, 6, 2002. **Anais...** Vitória: SIBESA, 2002.

MONTE H. M. do; ALBUQUERQUE, A. **Reutilização de Águas Residuais**. Lisboa, Ed. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos e Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2010.

MOTA, S. et. al. (Org.). **Reuso de Águas em Irrigação e Piscicultura**. Fortaleza. UFC, 2007.

MOTA, F. S. B. ; SPERLING, M. Von. (Coord.). **Nutrientes de Esgoto Sanitário: Utilização e Remoção**. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

MOTTA, S. R. F.; AGUILAR, M. T. P. Sustentabilidade e Processos de Projetos de Edificações. **Revista Gestão & Tecnologia de Projetos**, São Carlos-SP, v. 4, n. 1, p. 84-119. mai. 2009.

NIRENBERG, L.P. ; REIS, R. P. A. Avaliação do desempenho de sistema de reúso de água de uma edificação unifamiliar em Goiânia-Go. **REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, UFG, n. 1, p. 1-10. 2010. Disponível em: <<http://www.revistas.ufg.br/index.php/reec/index>>. Acesso em 15/09/2010, 15:32:40.

NUVOLARI, A. **Esgoto Sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. São Paulo, Edgard Blucher:, 2003.

OLIVEIRA, E. C. M. **Desinfecção de efluentes sanitários tratados através da radiação ultravioleta**. 2003. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

OLIVEIRA, R. A. et al. Desempenho de reator anaeróbio compartimentado (abr) para o tratamento de águas residuárias de suinocultura. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Belo Horizonte, 24, 2007. **Anais...** Minas Gerais: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. **Diretrizes para a qualidade microbiológica de águas residuais tratadas, utilizadas em agricultura: recomendações para a revisão das diretrizes da OMS**. Boletim da Organização Mundial de Saúde, 2000.

OTTOSON, J.; STENSTR, T. A. Faecal contamination of greywater and associated microbial risks. **Water Research Elsevier Science Ltd.** p. 645–655. 2002.

PANIKKAR, A., et al. **A residential blackwater and a municipal solid waste treatment –safety issues and municipal solid waste treatment system - safety issues and risk management.** ORBIT 2003, Prathap, P., Murdoch University, Perth, Australia, 2003.

PANTOJA FILHO, J. L. R. **Avaliação da utilização de diferentes materiais suporte na biofiltração de sulfeto de hidrogênio.** 2008. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

PASSOS, P. R. de A. **destinação sustentável de cascas de coco (*cocos nucifera*) verde: obtenção de telhas e chapas de partículas.** 2005. 166 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

PINTO, G.A.S. **Rotas tecnológicas para o aproveitamento da casca de coco verde.** EMBRAPA, 2003.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MACEIÓ. **Plano Municipal de Redução de Risco,** 2007.

Projetos de Construções Sustentáveis. Disponível em:  
<[www.maisprojeto.wordpress.com/2007/08/20/projetos-de-construcoes-sustentaveis](http://www.maisprojeto.wordpress.com/2007/08/20/projetos-de-construcoes-sustentaveis)>, acesso em 01/12/2010, 20:34:41.

Projeto Mc Donald - Riviera de São Lourenço. Disponível em:  
<[www.crismcdonaldriviera.blogspot.com](http://www.crismcdonaldriviera.blogspot.com)>, acesso em 01/12/2010, 08:28:58.

RAMOS, R. A. **Avaliação da influência da operação de descarte de lodo no desempenho dos reatores uasb em estações de tratamento de esgotos no distrito federal.** 2008. 133 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

REBOUÇAS, T. C. et al. Características físico-químicas e microbiológicas de diferentes tipos de águas residuárias de origem residencial. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Belo Horizonte, 24, 2007. **Anais...** Minas Gerais: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007.

SANTOS, D. C. dos. Os Sistemas prediais e a promoção da sustentabilidade ambiental. **Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 2, n. 4, p. 7-18, out/dez. 2002.

SANTOS, D. C.; ZABROCKI, L. **Graywater characterization in residential Building to assess its potencial use**. Curitiba: UFPR, 2003.

SANTOS, R. J. Q. dos et al. Simulação do rebaixamento dos sistemas aquíferos em área do Tabuleiro do Martins – Maceió – Alagoas – BR. In: CONGRESSO MUNDIAL INTEGRADO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 2000. **Anais...** Fortaleza, Congresso Mundial Integrado de Águas Subterrâneas, 2000.

SASSIM, M. N. M. et al. Estudo da desnitrificação em reator compartimentado para tratamento de esgoto proveniente de indústria de tintas e vernizes. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, João Pessoa, 21, 2001. **Anais...** João Pessoa: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001.

SENHORAS, E. M. **Estratégias de uma agenda para a cadeia agroindustrial do coco: transformando a ameaça dos resíduos em oportunidades eco-eficientes**. 2003. Monografia apresentada ao Instituto de Economia da Universidade Estadual de Campinas, 2003. Disponível em: <<http://www.cocoverderj.com.br/CocoMonografia.pdf>>. Acesso em 25/12/2010, 19:39:19.

SILVA, G. H. da et al. Construção sustentável: Reuso da água e fontes alternativas de energia como opções para a sustentabilidade habitacional. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23, 2005, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande; Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.

SILVA, G.H.R.; NOUR, E.A.A. Reator compartimentado anaeróbico/aeróbico: sistema de baixo custo para tratamento de esgotos de pequenas comunidades. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n.2, p.268-275. 2005.

SILVA, M. B. **Influência do tipo de meio suporte no desempenho de biofiltros aplicados à remoção de H<sub>2</sub>S do ar atmosférico em sistemas de esgoto sanitário**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2008.

Sustentabilidade no Setor da Construção Civil. Disponível em: <[www.asbea.org.br](http://www.asbea.org.br)>, acesso em 25/11/2010, 16:55:19.

TAVARES, P. de O. **Aplicação do Conceito de Sustentabilidade em Construções Residenciais**. 2010. 34 f. Monografia (Especialização em Construção Civil) - Escola de Engenharia – UFMG, Belo Horizonte, 2010.

TELLES, D. D.; COSTA, R. H. P. G. **Reúso da água: conceitos, teorias e práticas**. 1ª Ed, São Paulo, Editora Blucher, 2007.

Tratamento de Águas e Efluentes. Tratamento preliminar: Fossa e filtro anaeróbio. Disponível em: <[www.naturaltec.com.br/Tratamento-Agua-Fossa-Filtro.html](http://www.naturaltec.com.br/Tratamento-Agua-Fossa-Filtro.html)>, acesso em 12/12/2010, 14:16:23.

USEPA. **Guidelines for Water Reuse**. Environmental Protection Agency and U.S. Agency for International Development, 2004.

VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos: um manual para regiões de clima quente**. Campina Grande, EPGRAF, UFPB, 1999.

VOLTOLINI, R. A sustentabilidade segundo especialistas internacionais. **Revista Envolverde - Idéia Socioambiental**, 2009. Disponível em: <[www.cmqv.org/website/artigo](http://www.cmqv.org/website/artigo)>. Acesso em 15/09/2010, 20:34:41.

SPERLING, M. V. **Princípios básicos do tratamento de esgotos**. Belo Horizonte, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

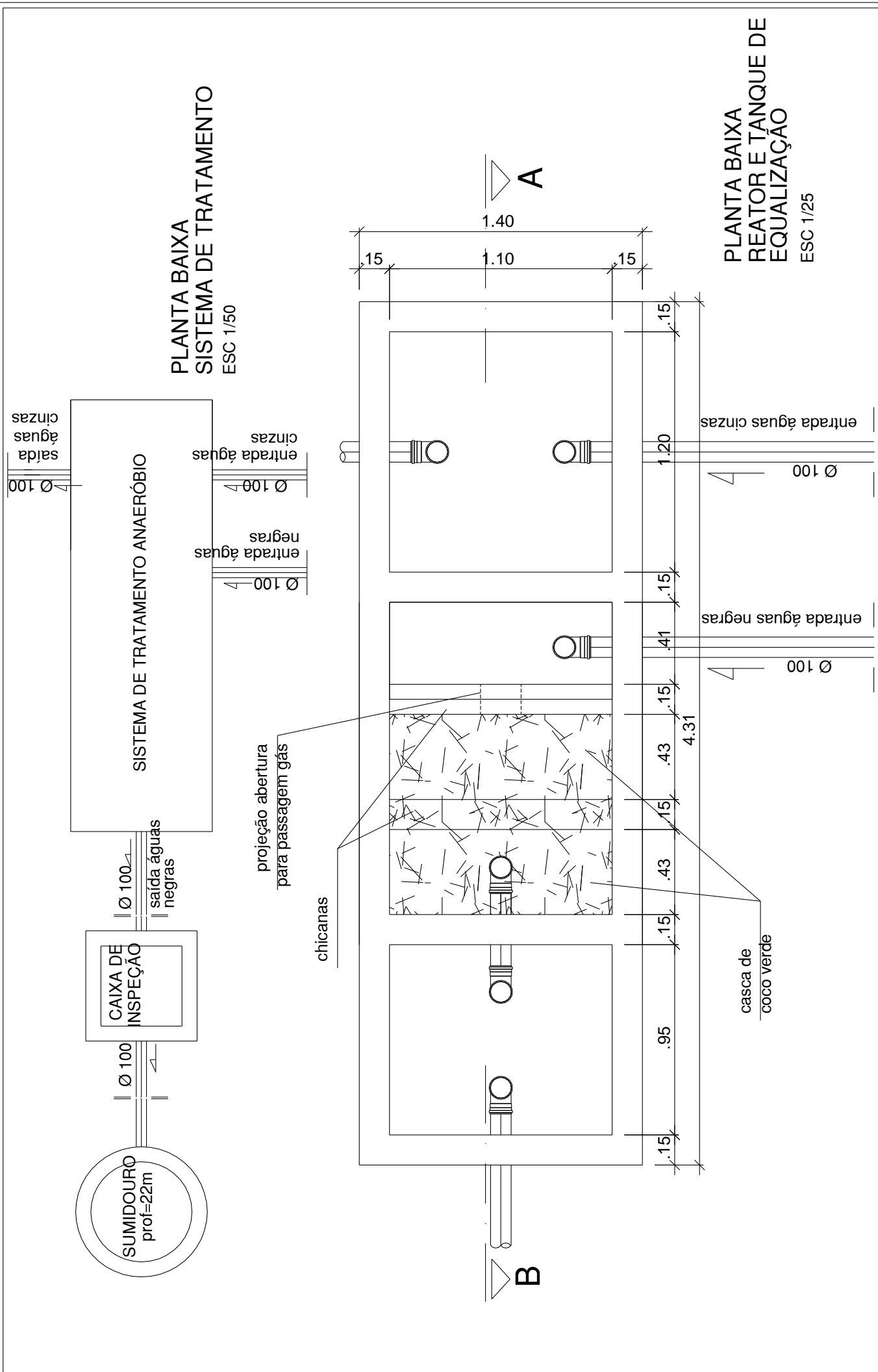
\_\_\_\_\_. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. Minas Gerais, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

---

ZABROCKI, L.; SANTOS, D. C. dos. Caracterização da água cinza em edifícios residenciais. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23, 2005, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande; Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.



APÊNDICE – Projeto de sistema de tratamento de efluentes para residência unifamiliar.



**PLANTA BAIXA**  
**SISTEMA DE TRATAMENTO**  
 ESC 1/50

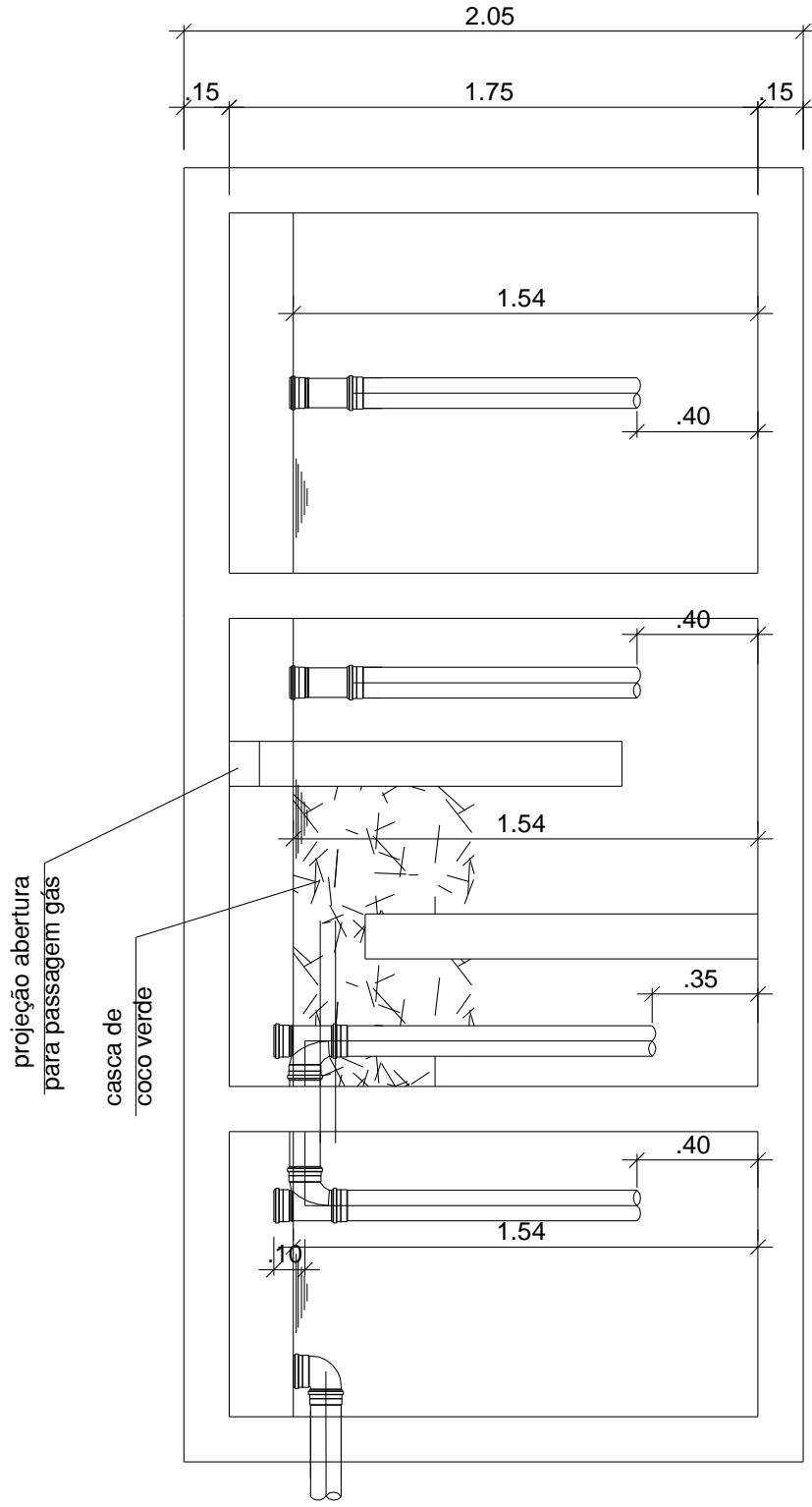
**PLANTA BAIXA**  
**REATOR E TANQUE DE**  
**EQUALIZAÇÃO**  
 ESC: 1/25

PRANCHA:  
**1/2**

PLANTA BAIXA  
 MARÇO/2011  
 ESC.: 1/25 E 1/50

**SISTEMA DE TRATAMENTO ANAERÓBIO**  
**RESIDENCIAL UNIFAMILIAR**  
 ALUNA: MARCELLE MARIA PAIS SILVA REBÉLO  
 ORIENTADOR: Dr. MÁRCIO GOMES BARBOZA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
 PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS  
 HÍDRICOS E SANEAMENTO



**CORTE AB**  
ESC 1/25

PRANCHA:  
**2/2**

CORTE AB  
MARÇO/2011  
ESC.: 1/25

**SISTEMA DE TRATAMENTO ANAERÓBIO**  
**RESIDENCIAL UNIFAMILIAR**  
ALUNA: MARCELLE MARIA PAIS SILVA REBÉLO  
ORIENTADOR: Dr. MÁRCIO GOMES BARBOZA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS  
HÍDRICOS E SANEAMENTO