UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA

CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

AVALIAÇÃO PRELIMINAR DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E PROPOSTA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO PARA A ZONA RURAL DE BELMIRO BRAGA

Andrêssa Rezende Pereira

Juiz de Fora

2014

AVALIAÇÃO PRELIMINAR DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E PROPOSTA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO PARA A ZONA RURAL DE BELMIRO BRAGA

Andrêssa Rezende Pereira

Andrêssa Rezende Pereira

AVALIAÇÃO PRELIMINAR DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E PROPOSTA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO PARA A ZONA RURAL DE BELMIRO BRAGA

Trabalho Final de Curso apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Área de concentração: Saneamento

Linha de pesquisa: tratamento de água e tratamento de efluentes domésticos

Orientadora: Ana Sílvia Pereira Santos

Co-orientadora: Renata de Oliveira Pereira

Juiz de Fora

Faculdade de Engenharia da UFJF

2014

“AVALIAÇÃO PRELIMINAR DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E PROPOSTA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO PARA A ZONA RURAL DE BELMIRO BRAGA”

ANDRÊSSA REZENDE PEREIRA

Trabalho Final de Curso submetido à banca examinadora constituída de acordo com o artigo 9° da Resolução CCESA 4, de 9 de abril de 2012, estabelecida pelo Colegiado do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Sanitarista e Ambiental.

Aprovado em 25 de junho de 2014.

Por:

_____
Profª. DSc. Ana Sílvia Pereira Santos

_____
Prof. MSc. Fabiano César Tosetti Leal

_____
Prof. DSc. Marco Antônio Moreira Furtado

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me dar vida e coragem para lutar pelos meus objetivos, sem me deixar perder jamais a fé, mesmo nos momentos de dificuldade.

Aos meus pais, Reinaldo e Leila, pelo esforço e trabalho incansável em me dar o suficiente para realizar este sonho.

A toda família, especialmente àqueles que ofereceram suas casas de portas abertas.

À minha irmã, Alessandra, pelos grandes momentos de alegria e diversão divididos.

Aos grandes companheiros de São José e aos amigos da Escola Estadual de Belmiro Braga.

Aos amigos feitos na faculdade de engenharia, por dividir os momentos de tristeza e de felicidade.

Em especial, agradeço à Aline, Cristiane e Ramiro pela disponibilidade e contribuição neste trabalho.

A todos os professores do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária que despertaram minha vocação, especialmente às professoras Renata e Ana Sílvia pela oportunidade e paciência em me ensinar coisas que levarei pelo resto de minha vida.

RESUMO

Atualmente no Brasil, os índices de abastecimento de água, assim como os índices de esgotamento sanitário nas zonas rurais dos municípios, são preocupantes devido à dificuldade de acesso a recursos, que normalmente só chegam até as sedes destes municípios e disponibilidade de profissionais qualificados para execução e realização de projetos. Sendo assim, o presente trabalho busca analisar o sistema de abastecimento de água focando principalmente na qualidade da água distribuída às sete comunidades rurais do município de Belmiro Braga – MG e propor um sistema simplificado de tratamento de efluentes domésticos para cada um destes distritos. No estudo, verificou-se que o sistema de abastecimento de água da zona rural de Belmiro Braga – MG necessita passar por uma avaliação criteriosa, considerando que o sistema se encontra em desacordo com a legislação, principalmente com relação à etapa de desinfecção. Com relação à qualidade da água distribuída, verificou-se que alguns parâmetros estavam fora do limite estabelecido pela Portaria 2914/2011. A turbidez e a cor foram os parâmetros em maior desconformidade com a legislação, mostrando a necessidade de investimento em tecnologias de tratamento eficazes na remoção destes e na adequação da qualidade da água destinada ao consumo humano. Já com relação aos sistemas simplificados de tratamento de efluentes domésticos, dois fluxogramas foram sugeridos: i) reator UASB associado às lagoas de polimento; e ii) sistema de tanque séptico associado ao filtro anaeróbio. Os dois fluxogramas foram dimensionados para as seis comunidades que não possuem nenhum tipo de tratamento, apesar da existência de rede coletora. As dimensões e os custos necessários para a implantação dos sistemas são baixos, quando comparados a sistemas convencionais de tratamento, em função das vazões reduzidas devido à população de cada distrito ser inferior a 300 habitantes. Após esta análise preliminar, conclui-se que este trabalho é uma contribuição importante para garantir a salubridade ambiental na zona rural do município de Belmiro Braga – MG, porém sabe-se que um estudo mais aprofundado deve ser realizado para a correta implantação de sistemas de tratamento de água e esgoto doméstico.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS v

LISTA DE TABELAS vi

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS vii

1. INTRODUÇÃO 1

2. OBJETIVOS 3

2.1 Objetivo Geral 3
2.2 Objetivos Específicos 3

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 4

3.1 O município de Belmiro Braga 4
3.2 Qualidade da água para consumo humano 6
3.2.1 Principais parâmetros de qualidade de água voltada para consumo humano 6
3.3 Sistemas de Abastecimento de Água 8
3.4 Sistemas de Esgotamento Sanitário 9
3.5 Tratamento de esgoto doméstico 10
3.5.1 Sistemas Simplificados de Tratamento de Esgoto 10
Lagoas de estabilização 11
Tanque séptico seguido por filtro anaeróbio 12
Reator UASB seguido por filtro anaeróbio 13
Reator UASB seguido por filtro biológico percolador 14
Reator UASB seguido por lagoas de polimento 15
Reator UASB seguido por aplicação no solo 16
3.5.2 Valores típicos dos sistemas de tratamento de esgotos 17
3.5.3 Considerações para o dimensionamento dos sistemas simplificados 20
Tratamento Preliminar 20
Reator UASB 21
Lagoa de Polimento 22
Tanque Séptico e Filtro Anaeróbio 22
3.6 Aspectos Legais 22
3.6.1 Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde 22
Competências do Município 23
Competências do responsável 23
Exigências Aplicáveis 24
Padrão de Potabilidade 24
Planos de Amostragem 26
3.6.2 Resolução CONAMA nº 396/2008 28
3.6.3 Resolução CONAMA nº 357/2005 28
3.6.4 Resolução CONAMA nº 430/2011 28
3.6.5 Deliberação Normativa Conjunta COPAM – CERH 01/2008 29

4. MATERIAIS E MÉTODOS 31

4.1 Sistema de Abastecimento de Água 31
4.1.1 Caracterização das fontes de abastecimento 31
4.1.2 Planejamento experimental 33
4.1.3 Análise das amostras 34
4.2 Sistema de Esgotamento Sanitário 35

4.2.1 Caracterização do local de estudo *35*
4.2.2 Dimensionamento dos sistemas simplificados *38*

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES 39

5.1 Sistema de Abastecimento de Água 39
5.1.1 Avaliação do sistema de abastecimento de água *39*
5.1.2 Qualidade das águas de abastecimento das comunidades *40*
5.1.3 Avaliação dos resultados obtidos *42*
pH 42
Condutividade Elétrica 43
Salinidade 44
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) 45
Turbidez 46
Cor 48
5.1.4 Estudo das tecnologias de tratamento *49*
5.2 Sistema de Esgotamento Sanitário 51
5.2.1 Dimensionamento dos sistemas simplificados *51*
5.2.2 Demandas de área, volume de lodo e custos *57*

6. CONCLUSÕES 59

7. RECOMENDAÇÕES 61

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 62

9. ANEXO 65

9.1 Memorial de cálculos 65
9.1.1 Cálculo das Vazões *65*
9.1.2 Tratamento Preliminar *65*
9.1.3 Reator UASB *68*
9.1.4 Lagoa de Polimento *69*
9.1.5 Tanque Séptico e Filtro Anaeróbio *69*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Delimitação do município de Belmiro Braga-MG 5

Figura 2: Sistema utilizando lagoas de estabilização seguidas por lagoas de maturação 12

Figura 3: Sistema utilizando tanque séptico seguido por filtro anaeróbio 13

Figura 4: Sistema utilizando reator UASB seguido por filtro anaeróbio 14

Figura 5: Sistema utilizando reator UASB seguido por filtro biológico percolador 15

Figura 6: Sistema utilizando reator UASB seguido por lagoa de polimento 16

Figura 7: Sistema utilizando reator UASB seguido por aplicação no solo 17

Figura 8: Poços utilizados para o abastecimento da população rural do município de Belmiro Braga 32

Figura 9: Localização dos sete distritos do município de Belmiro Braga 33

Figura 10: Locais de lançamento do esgoto doméstico em cada distrito 37

Figura 11: Valores encontrados na primeira e segunda amostragem para pH 42

Figura 12: Valores encontrados na primeira e segunda amostragem para CE 44

Figura 13: Valores encontrados na primeira e segunda amostragem para salinidade 45

Figura 14: Valores encontrados na primeira e segunda amostragem para SDT 46

Figura 15: Valores encontrados na primeira e segunda amostragem para turbidez 47

Figura 16: Valores encontrados na primeira e segunda amostragem para cor 49

Figura 17: Grade fina 66

Figura 18: Desarenador e Calha Parshall 68

Figura 19: Lagoas de polimento em série 69

Figura 20: Tanque séptico 70

Figura 21: Filtro anaeróbio 71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais parâmetros físicos, químicos e microbiológicos 7

Tabela 2: Valores típicos de concentrações médias efluentes 18

Tabela 3: Valores típicos de eficiências médias de remoção 19

Tabela 4: Características típicas dos principais sistemas de tratamento de esgotos 20

Tabela 5: Tabela de padrão de turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção 26

Tabela 6: Parâmetros da água potável e seus VMP estabelecidos na Portaria 2914/2011 27

Tabela 7: Coordenadas geográficas de cada poço/nascente e tipo de fonte 31

Tabela 8: Parâmetros e respectivas unidades utilizadas 35

Tabela 9: Principais características dos distritos 36

Tabela 10: Principais parâmetros utilizados para os dimensionamentos 38

Tabela 11: Resultados encontrados na primeira e segunda amostragem 41

Tabela 12: Características das águas naturais e tecnologia de tratamento recomendada 49

Tabela 13: Características das técnicas de dupla filtração e tratamento convencional 51

Tabela 14: Vazões para cada distrito 52

Tabela 15: Principais resultados do dimensionamento do tratamento preliminar 54

Tabela 16: Resultados do dimensionamento dos reatores UASB e lagoas de polimento 55

Tabela 17: Resultados do dimensionamento do tanque séptico e filtro anaeróbio 56

Tabela 18: Demanda de área, volume de lodo e custos para UASB e lagoa de polimento 57

Tabela 19: Demanda de área, volume de lodo e custos para tanque séptico+filtro anaeróbio 57

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

CE: Condutividade Elétrica (µS/cm)

CERH: Conselho Estadual de Recursos Hídricos

COPAM: Conselho de Política Ambiental

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente

COPASA: Companhia de Saneamento de Minas Gerais

Cter: Coliformes Termotolerantes

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO: Demanda Química de Oxigênio

E. coli: Escherichia coli

ETE: Estação de Tratamento de Esgoto

FUNASA: Fundação Nacional da Saúde

Helm.: Helmintos

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

N: Nitrogênio

NH_3: Amônia

OD: Oxigênio Dissolvido

O&M: Operação e Manutenção

OMS: Organização Mundial da Saúde

OMSS: Operação e Manutenção de Sistemas Simplificados

P: Fósforo

pH: Potencial Hidrogeniônico

PNAD: Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios

PROSAB: Programa de Pesquisa em Saneamento Básico

ReCESA: Rede de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental

SABESP: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

Sal.: Salinidade (%)

SDT: Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)

SNIS: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SS: Sólidos Sedimentáveis (mg/L)

Turb.: Turbidez (uT)

UASB: Reator Anaeróbio de Manta de Lodo em Fluxo Ascendente

uH: Unidades Hazen

uT: Unidades de Turbidez

VMP: Valor Máximo Permitido

σ: Desvio Padrão

1. INTRODUÇÃO

De acordo com a definição da Organização Mundial da Saúde – OMS (CESAMA, 2014), saneamento é o controle de todos os fatores do meio físico do homem, que exercem ou podem exercer efeitos nocivos sobre o bem estar físico, mental e social. Ao conhecer também a definição de saúde pela OMS como sendo o estado de completo bem-estar físico, mental e social, e não apenas a ausência de doença, é possível entender a relação entre saneamento e saúde. Assim, com o objetivo de se garantir a salubridade ambiental, alguns serviços básicos devem ser oferecidos, como o abastecimento de água em quantidade e qualidade desejável, o esgotamento sanitário, a gestão de resíduos sólidos e a drenagem das águas pluviais.

O abastecimento de água na qualidade e quantidade adequada, seguindo as especificações da Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde, e os sistemas de esgotamento sanitário evitam a exposição da população aos microrganismos patogênicos, diminuindo assim a possibilidade de doenças de veiculação hídrica.

No Brasil, sabe-se que o país possui um grande atraso com relação ao saneamento básico. Segundo o Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto de 2011 (SNIS, 2013), o índice de atendimento da população do país, incluindo a rural e a urbana, com relação ao abastecimento de água é de 82,4%. Esse mesmo índice para coleta de esgoto é de 48,1%. Já quando são analisados os índices da região Sudeste, para fornecimento de água e coleta de esgoto, os números são, respectivamente, 91,5% e 73,8%.

De acordo com dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – PNAD/2012 fornecida no site da Fundação Nacional da Saúde - FUNASA, apenas 33,2% dos domicílios nas áreas rurais estão ligados a redes de abastecimento de água com ou sem canalização interna. O restante da população (66,8%) capta água de chafarizes e poços protegidos ou não, diretamente de cursos de água sem nenhum tratamento ou de outras fontes alternativas geralmente insalubres.

Ao analisarmos a situação do saneamento no país, é possível observar que o atendimento com sistemas de abastecimento de água e sistemas de esgotos sanitários estão centrados nas sedes municipais, deixando a população rural sem atendimento significativo.

Segundo a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP (2013), desde os primórdios da civilização, as águas subterrâneas são utilizadas pelo homem, através de poços rasos escavados. Quando a própria pressão natural da água é capaz de levá-la até a superfície, existe um poço artesiano. Já o semi-artesiano, necessita de aparelhos para captação da água. Além disso, existem também os poços freáticos originados em profundidades pequenas. Estes estão mais sujeitos a contaminações por água de chuva e até mesmo por infiltrações de esgoto. No Brasil observou-se, nas últimas décadas, um aumento considerável da utilização de água subterrânea para o abastecimento público. Cabe destacar que grande parte das cidades brasileiras com população inferior a 5.000 habitantes, possui condições de recepção de água proveniente de reservas subterrâneas. Isso ocorre devido ao fato de que as reservas subterrâneas geralmente apresentam água de melhor qualidade e um custo menor de captação, adução e tratamento (SABESP, 2013).

Com relação aos dados de esgotamento sanitário em áreas rurais publicados na PNAD/2012, a situação é mais crítica: apenas 5,7% dos domicílios estão ligados à rede de coleta de esgotos e 20,3% utilizam a fossa séptica como solução para o tratamento dos dejetos. Os demais domicílios (74%) depositam os dejetos em "fossas rudimentares", lançam em cursos d'água *in natura* ou diretamente no solo a céu aberto.

Uma boa solução para a adequação dos sistemas de esgotamento sanitário é a implantação de sistemas simplificados de tratamento de esgoto. De acordo com informações do Guia ReCESA (Operação e Manutenção de Sistemas Simplificados – OMSS, 2008), a qualidade esperada do efluente advindo de um sistema simplificado é semelhante à alcançada pelos sistemas convencionais, porém com menores custos de implantação e operação, baixo requisito de área, simplicidade operacional, de manutenção e de controle, além de elevada vida útil. Essas características fazem com que o tratamento simplificado tenha grandes possibilidades de aplicação no Brasil, e principalmente em regiões mais distantes dos centros urbanos, devido às dificuldades de aplicação de grandes investimentos financeiros para implantação, operação/manutenção de Estações de Tratamento de Esgotos – ETE.

No presente trabalho, foi adotado o município de Belmiro Braga, localizado na Zona da Mata do estado de Minas Gerais para realização de um estudo preliminar sobre o sistema de abastecimento de água da população residente em sua área rural e um estudo da melhor alternativa de tratamento dos efluentes domésticos gerados nessa mesma localidade.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo do presente trabalho é realizar uma avaliação preliminar do sistema de abastecimento de água utilizado pela população dos distritos da área rural do município de Belmiro Braga – MG e oferecer uma alternativa de tratamento de efluentes domésticos para estes distritos.

2.2 Objetivos Específicos

- Levantar dados gerais e dados de saneamento do município de Belmiro Braga – MG.
- Identificar os poços artesianos/freáticos da área rural utilizados para abastecer a população.
- Diagnosticar a população e área atendida por cada poço identificado.
- Analisar as definições e diretrizes pertinentes descritas na Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.
- Analisar alguns parâmetros de qualidade da água, a fim de se conhecer a água que é distribuída à população rural do município de Belmiro Braga – MG.
- Realizar um diagnóstico preliminar do sistema de abastecimento de água do município de Belmiro Braga – MG.
- Analisar o padrão de lançamento de efluentes descrito na COPAM/CERH 01 – 2008, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes para o estado de Minas Gerais.
- Identificar as tecnologias de sistemas simplificados de tratamento de esgotos aplicadas no Brasil.
- Realizar um estudo preliminar de concepção para proposição de sistemas simplificados de tratamento de esgoto mais adequados para a área rural do município.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 O município de Belmiro Braga

Segundo dados obtidos no IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2013), a história do município iniciou-se quando um dos mais antigos moradores da localidade, o Guarda-Mor Mariano de Cerqueira Carneiro, originário de Portugal, se estabeleceu na região iniciando o plantio de cereais. Posteriormente, requereu a sesmaria onde morava, adquirindo mais tarde, outras duas sesmarias. O arraial começou a povoar-se por volta de 1852. No local, existia a fazenda denominada Boa Vista, de propriedade de Joaquim Garcia de Oliveira, que mais tarde foi adquirida por Joana Claudina de Jesus, que realizou a doação de terras para a criação do povoado de quatro alqueires de terra à Santana, hoje padroeira da cidade. Outros moradores se estabeleceram na região, adquirindo terras e ali se fixando, em sua maioria portugueses ou descendentes. Mais tarde, também chegaram os italianos que muito contribuíram para o progresso do lugar (IBGE, 2013).

O distrito criado recebeu a denominação de Vargem Grande, subordinado ao município de Juiz de Fora. Posteriormente o distrito de Vargem Grande passou a denominar-se Ibitiguaia. Em 30 de dezembro de 1962, a localidade se desmembrou de Juiz de Fora e tornou-se um município, recebendo o nome em homenagem ao grande poeta Belmiro Braga, nascido na região.

De acordo com o Plano Municipal de Saneamento Básico de Belmiro Braga (2012), o município está situado na Zona da Mata do estado de Minas Gerais, com área total de 393 quilômetros quadrados. Seu limite territorial faz divisa com os municípios mineiros de Juiz de Fora, Matias Barbosa, Simão Pereira e Santa Bárbara do Monte Verde. Já com o estado do Rio de Janeiro possui limites com os municípios de Paraíba do Sul, Comendador Levy Gasparian e Rio das Flores. O município está inserido na Bacia do Rio Paraíba do Sul, sendo banhado ao norte pelo Rio do Peixe, ao leste pelo Rio Paraibuna e ao sul pelo Rio Preto. Inúmeros córregos e ribeirões também compõem a rede hidrográfica, sendo esta uma região predominantemente serrana. A partir do Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul, o município pertence à sub-bacia dos afluentes do Rio Preto e Paraibuna (CEIVAP, 2014). Na Figura 1 encontra-se o município e seus limites geográficos.

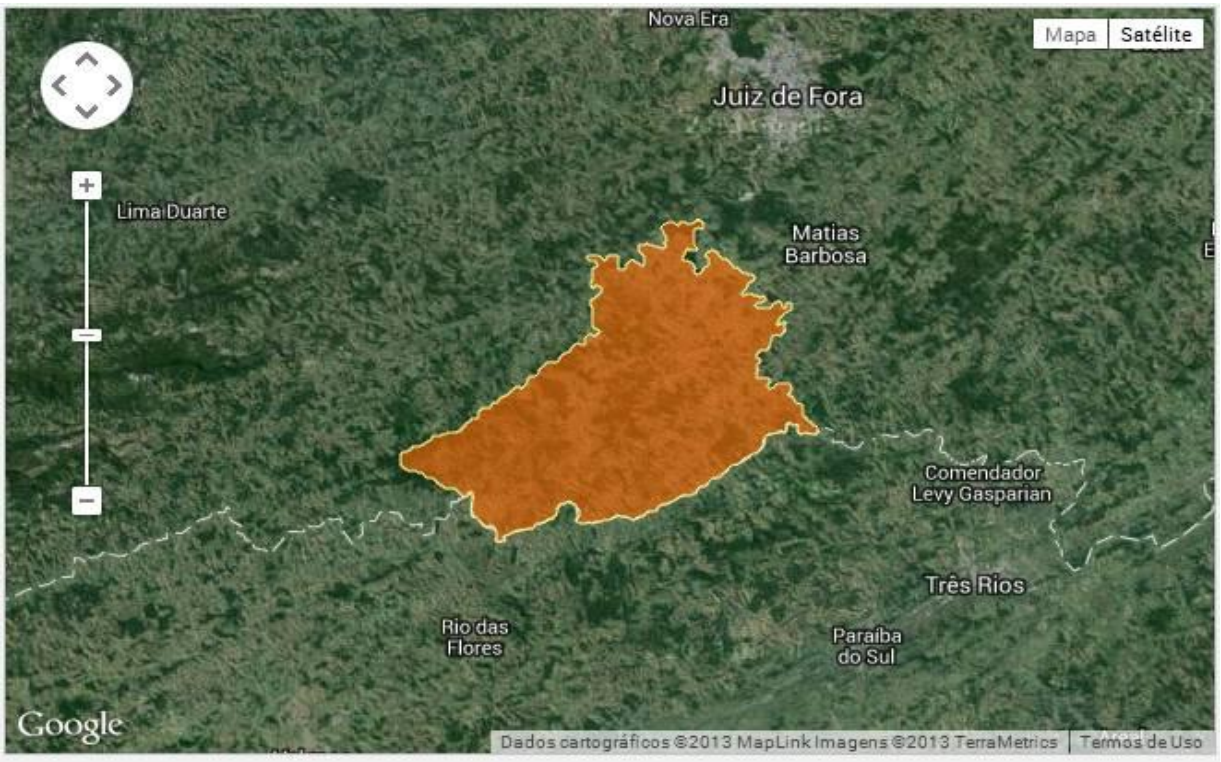


Figura 1: Delimitação do município de Belmiro Braga-MG
Fonte: IBGE (2010)

Com relação à demografia, segundo o Censo do IBGE de 2010, o município possui 3.403 habitantes divididos em 1.089 domicílios. A distribuição dessa população se organiza da seguinte forma: o distrito sede de Belmiro Braga, Vila São Francisco, Sobragy, Três Ilhas e Porto das Flores. Aproximadamente 67,7% da população vivem na zona rural e distritos, os outros 32,3% encontra-se na sede do município.

A organização do município conta com cinco distritos, porém existem outras vilas não citadas no IBGE (2010). São os distritos de São José das Três Ilhas, Fortaleza e Vila Klabin. No presente trabalho serão analisados apenas os sete distritos da zona rural, excluindo o distrito sede de Belmiro Braga.

O município possui uma economia voltada principalmente para a agropecuária, com destaque para a produção de leite e gado de corte. De acordo com o IBGE (2013), o Produto Interno Bruto do ano de 2009 foi de R$35.245, sendo aproximadamente 33% advindos da agropecuária, 19% da indústria e 48% da prestação de serviços.

A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008, apresentada no site do IBGE, mostra que 584 domicílios do município possuíam abastecimento de água, representando apenas 53,6% das residências. O volume de água distribuída para os 584 domicílios com tratamento

convencional era de 176 m³/d e o volume de água distribuída, sem nenhum tipo de tratamento para estes domicílios, era de 222 m³/d.

Com relação ao esgotamento sanitário, o município possui rede de coleta de esgotos, porém os mesmos são lançados nos corpos d'água sem nenhum tipo de tratamento, assim como as águas pluviais que também são coletadas e lançadas em córregos e rios. Estes dois serviços são executados pela prefeitura. Atualmente, com relação aos resíduos sólidos, a administração municipal realiza a coleta, porém transporta os resíduos para o Aterro Sanitário de Dias Tavares no município de Juiz de Fora.

3.2 Qualidade da água para consumo humano

O conceito de qualidade da água abrange muito além de uma simples caracterização da água pela fórmula H_2O. Isso porque ela incorpora em si diversas impurezas, devido às suas propriedades de solvente e à sua capacidade de transportar partículas (VON SPERLING, 2005).

Segundo Von Sperling (2005), a qualidade da água é resultante de fenômenos naturais e da atuação do homem. Assim, pode-se dizer que a qualidade de uma determinada água é função das condições naturais e o uso e a ocupação do solo da bacia hidrográfica a qual está inserida. Dessa forma, o estudo da qualidade da água se torna fundamental para caracterizar as conseqüências de uma determinada fonte poluidora e estabelecer os meios para que se satisfaça determinado uso da água.

3.2.1 Principais parâmetros de qualidade de água voltada para consumo humano

A qualidade da água pode ser representada através de vários parâmetros. A seguir, na Tabela 1, são destacados os principais parâmetros físicos, químicos e biológicos, que determinam a qualidade da água.

Tabela 1: Principais parâmetros físicos, químicos e microbiológicos

PARÂMETROS FÍSICOS				
Parâmetros	**Conceito**	**Origem Natural**	**Origem antropogênica**	**Importância**
Cor (sólidos dissolvidos)	Coloração na água	Decomposição da matéria orgânica	Resíduos industriais e esgotos domésticos	A presença de cor associada à cloração pode formar produtos cancerígenos.
Turbidez (sólidos em suspensão)	Grau de interferência com a passagem de luz através da água	Partículas de rochas, argila e silte	Despejos industriais e domésticos, erosão	Pode estar associada à presença de organismos patogênicos.
Sabor e odor	Interação entre gosto e sensação olfativa	Decomposição de matéria orgânica, microrganismos e gases dissolvidos	Despejos industriais e domésticos, gases dissolvidos	Maior causa de reclamações dos consumidores.
Temperatura	Intensidade de calor	Radiação, condução e convecção	Despejos industriais	Aumentam a taxa de reações e diminuem a solubilidade dos gases

PARÂMETROS QUÍMICOS				
pH	Concentração de íons hidrogênio	Dissolução de rochas, gases da atmosfera e fotossíntese	Despejos industriais e domésticos	Tratamento de água, corrosividade e incrustações em tubulações
Alcalinidade	Quantidade de íons que reagirão para neutralizar H^+	Dissolução de rochas, reação de CO_2 com água	Despejos industriais	Tratamento de água, corrosividade em tubulações
Acidez	Resistência às mudanças de pH causadas pelas bases	Gás sulfídrico e CO_2	Despejos industriais e água em contato com minério	Corrosão de materiais e tubulações, desagradável paladar
Dureza	Concentração de cátions multimetálicos em solução	Dissolução de minerais contendo cálcio e magnésio	Despejos industriais	Reduz a formação de espuma, causa incrustação
Ferro e Manganês	Estão presentes nas formas solúveis e insolúveis	Dissolução de compostos do solo	Despejos industriais	Pode causar cor, sabor e odor à água
Cloretos	Íons advindos da dissolução de sais	Dissolução de minerais e intrusão de águas salinas	Despejos domésticos, industriais e águas utilizadas em irrigação	Confere sabor salgado à água
Nitrogênio	Nitrogênio molecular, orgânico, amônia, nitrito e nitrato	Composição celular dos microrganismos	Despejos industriais, domésticos, fertilizantes e excrementos de animais	Metahemoglobinemia, eutofrização, toxicidade aos peixes

Fósforo	Ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico	Dissolução de compostos do solo, decomposição da matéria orgânica	Despejos industriais, domésticos, fertilizantes, excrementos de animais e detergentes	Eutrofização
Micropoluentes Inorgânicos	Metais como arsênio, cádmio, chumbo	Irrelevante	Despejos industriais, atividades mineradoras, garimpo e agricultura	Podem ser tóxicos
Micropoluentes Orgânicos	Defensivos agrícolas, detergentes e produtos químicos	Vegetais com madeira	Despejos industriais, detergentes, processamento e refinamento do petróleo	Não são biodegradáveis e podem ser tóxicos.

PARÂMETROS BIOLÓGICOS				
Coliformes Totais	Organismos de vida livre	Abundante nas fezes de animais de sangue quente	Efluentes domésticos, agropecuária	Indicadores de eficiência do tratamento de água
Coliformes Termotolerantes	Especialmente a bactéria *Escherichia coli*	Abundante nas fezes de animais de sangue quente	Efluentes domésticos, agropecuária	Indicador de contaminação exclusivamente fecal

Fonte Adaptado de Von Sperling (2005)

3.3 Sistemas de Abastecimento de Água

De acordo com Barros *et al.* (1995), o Sistema de Abastecimento de Água representa o "conjunto de obras, equipamentos e serviços destinados ao abastecimento de água potável de uma comunidade para fins de consumo doméstico, serviços públicos, consumo industrial e outros usos".

Este sistema se caracteriza pela retirada de água da natureza, pelo tratamento desta a fim de adequá-la para consumo, pelo transporte e fornecimento à população. Em linhas gerais as unidades do sistema de abastecimento de água são: manancial, captação, adução, tratamento, reservação e rede de distribuição (BARROS *et al*., 1995).

Existem também as soluções alternativas para o abastecimento de água, ideais para localidades onde os sistemas convencionais seriam inviáveis de acordo com as características da população, recursos financeiros, entre outros. De acordo com Heller & Pádua (2006), as soluções alternativas incluem poços comunitários, distribuição por veículo transportador, instalações condominiais verticais ou horizontais. Essas soluções têm caráter permanente quando são utilizadas por um longo período, em áreas rurais ou urbanas (HELLER & PÁDUA, 2006).

Dentre os mananciais de abastecimento de água, podem ser destacadas as fontes subterrâneas, como os aqüíferos freáticos e os aqüíferos artesianos. Os aqüíferos freáticos têm seu limite superior definido pelo lençol freático e são usualmente os primeiros encontrados quando ocorre a perfuração de poços. Estes estão mais sujeitos à contaminação, devido ao contato com a superfície. Já os aqüíferos artesianos são aqueles confinados entre camadas de solo e rochas, ficando menos expostos às interferências da superfície, já que durante a infiltração a água passa pelo processo de filtração natural (PALMIER, 2010).

3.4 Sistemas de Esgotamento Sanitário

De acordo com a norma técnica NBR 9648 de 1986, o sistema de esgotamento sanitário é o conjunto de condutos, instalações e equipamentos responsáveis pela coleta, transporte e afastamento, tratamento, e disposição final das águas residuárias, de uma forma adequada do ponto de vista sanitário e ambiental. O sistema de esgotos existe para diminuir a possibilidade de contato de dejetos humanos com a população, com as águas de abastecimento, com vetores de doenças e alimentos.

Segundo Von Sperling (2005), existem basicamente duas variantes dos sistemas de esgotamento sanitário: i) sistemas individuais – indicados como solução local, individual ou para poucas residências, com baixo adensamento populacional; e ii) sistemas coletivos – com afastamento dos esgotos da área servida em regiões de alto adensamento populacional, em tubulações para lançamento em outro local.

Os sistemas individuais consistem no lançamento de esgotos gerados em uma ou poucas unidades habitacionais, normalmente envolvendo infiltração no solo. Esta solução pode funcionar, porém o solo deve ter boas condições de infiltração, além do nível de água subterrânea se encontrar em boa profundidade. Apesar disso, a possibilidade de contaminação, principalmente com organismos patogênicos, é muito grande, necessitando assim de uma solução mais eficaz, tanto financeiramente quanto em relação à eficiência de remoção.

Já os sistemas coletivos, como são indicados para locais com alta densidade populacional, consistem em um conjunto de canalizações que transporta o esgoto até a destinação final, sendo esta com ou sem tratamento. Os sistemas coletivos ainda podem ser classificados de

duas formas: sistema separador, que transporta apenas os efluentes domésticos; e sistema unitário, que incorpora também as águas pluviais na mesma tubulação.

Ressalta-se que um sistema de esgotamento sanitário coletivo completo contempla desde as ligações prediais aos coletores públicos até o tratamento adequado antes do seu lançamento final.

3.5 Tratamento de esgoto doméstico

Diversas são as tecnologias atualmente disponíveis para tratamento de efluentes domésticos, conforme abordado pela versão mais recente da norma brasileira NBR 12.209/2011 que trata da elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários.

Nas unidades de tratamento, são realizadas as diversas operações e processos unitários que promovem a separação entre os poluentes em suspensão e dissolvidos e a água a ser descarregada no corpo receptor, bem como condicionamento dos resíduos retidos.

As tecnologias a serem utilizadas em cada ETE são definidas a partir das características do efluente, dos custos de investimento para implantação e operação, da área disponível x área requerida, da demanda de energia elétrica, da produção de lodo, etc.

3.5.1 Sistemas Simplificados de Tratamento de Esgoto

Segundo o Guia ReCESA A (2008), quando se analisa o grande déficit sanitário, aliado ao quadro epidemiológico e ao perfil socioeconômico das comunidades brasileiras, a opção por sistemas de saneamento básico simplificados para a promoção associada da saúde da população e proteção ambiental assume grande importância. As soluções alternativas para o tratamento de esgotos, baseadas em sistemas simplificados, encontram grande aplicabilidade e têm apresentado vantagens sobre os sistemas convencionais por conjugar baixos custos de implantação e operação, simplicidade operacional, índices mínimos de mecanização e uma maior sustentabilidade do sistema. Segundo o guia, os principais sistemas simplificados de amplo emprego no país para o tratamento de esgotos domésticos são:

- Lagoas de estabilização;
- Tanque séptico seguido por filtro anaeróbio;

- Reator anaeróbio de manta de lodo em fluxo ascendente (UASB) seguido por filtro anaeróbio;
- UASB seguido por filtro biológico percolador;
- UASB seguido por lagoas de polimento; e
- UASB seguido por aplicação superficial no solo.

Ressalta-se que UASB refere-se à nomenclatura em inglês para reator anaeróbio de manda de lodo em fluxo ascendente e significa *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*.

Os fluxogramas citados encontram-se descritos a seguir:

Lagoas de estabilização

Uma das principais técnicas de tratamento por sistemas de lagoas é a combinação de lagoa anaeróbia seguida por lagoa facultativa e lagoas de maturação. As duas primeiras são as que, efetivamente, consistem em lagoas de estabilização (que estabilizam a matéria orgânica). Já as lagoas de maturação têm a função de remover organismos patogênicos.

Na lagoa facultativa, predominam as bactérias facultativas, capazes de adaptação aos ambientes aeróbios (mais à superfície) e anaeróbios (no fundo das lagoas). O oxigênio necessário à estabilização da matéria orgânica é fornecido, em grande parte, por algas que realizam a fotossíntese e estão em grande concentração na parte superior da lagoa.

As lagoas de maturação apresentam profundidades inferiores às lagoas facultativas, favorecendo a introdução de radiação ultravioleta em toda a massa líquida. Essa é a principal característica desse tipo de lagoa e fundamental para inativação de microrganismos patogênicos. Nestes casos com a carga orgânica já bastante reduzida, a fotossíntese ocorre em grande intensidade, estabelecendo, assim, um ambiente com elevados teores de oxigênio dissolvido – OD. As condições ambientais favorecem a remoção de organismos patogênicos e podem alcançar eficiência relativamente elevada de remoção de nitrogênio.

Na Figura 2 pode-se observar o fluxograma de um sistema completo de lagoas de estabilização, contemplando lagoa anaeróbia, lagoa facultativa e lagoa de maturação.

Figura 2: Sistema utilizando lagoas de estabilização seguidas por lagoas de maturação
Fonte: ReCESA (2008)

Tanque séptico seguido por filtro anaeróbio

Os tanques sépticos seguidos por filtros anaeróbios (também chamados de sistema fossa-filtro) têm sido amplamente utilizados para atendimento unifamiliar e de comunidades de pequeno porte. O tanque séptico remove a maior parte dos sólidos em suspensão, os quais se sedimentam e sofrem o processo de digestão anaeróbia pela atuação do lodo que se acumula no fundo do tanque. O tempo de permanência do lodo no tanque permite que o mesmo seja estabilizado no próprio reator, ou seja, proporciona a redução da sua fração orgânica. Esse lodo poderia dessa forma, ser encaminhado diretamente para uma unidade de desaguamento, como por exemplo, os leitos de secagem. Porém, a operação do tanque séptico acaba não ocorrendo nas unidades unifamiliares e dessa forma, o lodo acaba sendo removido por caminhão limpa-fossa e encaminhado a uma estação convencional de tratamento de esgoto. Em muitos casos no Brasil, por falta de fiscalização, esse destino final acaba não ocorrendo e o lodo é então lançado em corpos d'água, solo ou áreas não apropriadas para este fim.

O efluente do tanque séptico é encaminhado ao filtro anaeróbio, que pode ser descendente ou ascendente. Para este último caso, mais comum, o esgoto entra na parte inferior, passa por um material de enchimento (pedras ou outros materiais) e sai pela parte superior. O filtro anaeróbio efetua uma remoção complementar de DBO, que pode ocorrer por duas vias: (i) pela retenção física da matéria orgânica particulada (de maiores dimensões) através do meio suporte e decantação ao longo da unidade; (ii) pela atuação da camada de biomassa que cresce aderida ao meio suporte (biofilme). Os microrganismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica crescem no fundo do filtro e também aderidos ao material de enchimento.

O lodo de excesso descartado periodicamente do filtro anaeróbio também já sai estabilizado, portanto, é encaminhado conjuntamente com aquele proveniente do tanque séptico para o seu destino final. Na Figura 3, pode-se observar um fluxograma típico desse sistema, inclusive

com desaguamento natural do lodo. A presença do tratamento preliminar no fluxograma será determinada pela vazão de efluente a ser tratado, já que no caso de populações muito pequenas, não é necessária a utilização das grades devido à baixa extensão das redes.

Ressalta-se que esse lodo desaguado, com algumas restrições, pode ser aproveitado em áreas agrícolas como biossólidos e no caso de regiões rurais, essa pode ser uma alternativa interessante tanto para gestão do lodo como para a produção de alimentos.

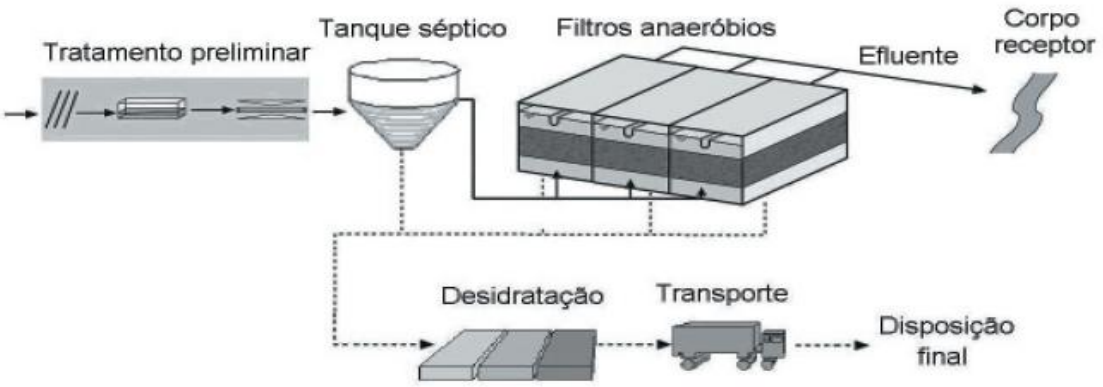


Figura 3: Sistema utilizando tanque séptico seguido por filtro anaeróbio
Fonte: ReCESA (2008)

Reator UASB seguido por filtro anaeróbio

No reator UASB, a matéria orgânica contida no esgoto é estabilizada por microrganismos anaeróbios que crescem dispersos no reator. O fluxo do líquido é ascendente. A parte superior do reator UASB contém uma estrutura denominada separador trifásico (gás, sólido e líquido). O gás coletado pode ser reaproveitado em função do seu alto poder calorífico ou até mesmo para geração de energia por causa da presença de metano, devendo ser ao menos queimado.

Adjacente ao separador trifásico encontra-se a câmara de decantação que é responsável pela sedimentação do lodo e retorno deste ao sistema e ainda a retirada do efluente clarificado. A biomassa que cresce no sistema constitui o lodo cujo excesso (denso e com baixo teor de matéria orgânica) é descartado periodicamente do reator e encaminhado para uma unidade de desaguamento, normalmente o leito de secagem em unidades de pequeno porte.

A utilização de filtro anaeróbio para o pós-tratamento do efluente do reator UASB, o qual substitui, com vantagens, o tanque séptico no sistema clássico, tem sido praticada em algumas

localidades no Brasil (ReCESA, 2008). O filtro anaeróbio atua na remoção complementar da matéria orgânica pela retenção física, decantação e pela atuação do biofilme.

O fluxograma do sistema pode ser observado na Figura 4.

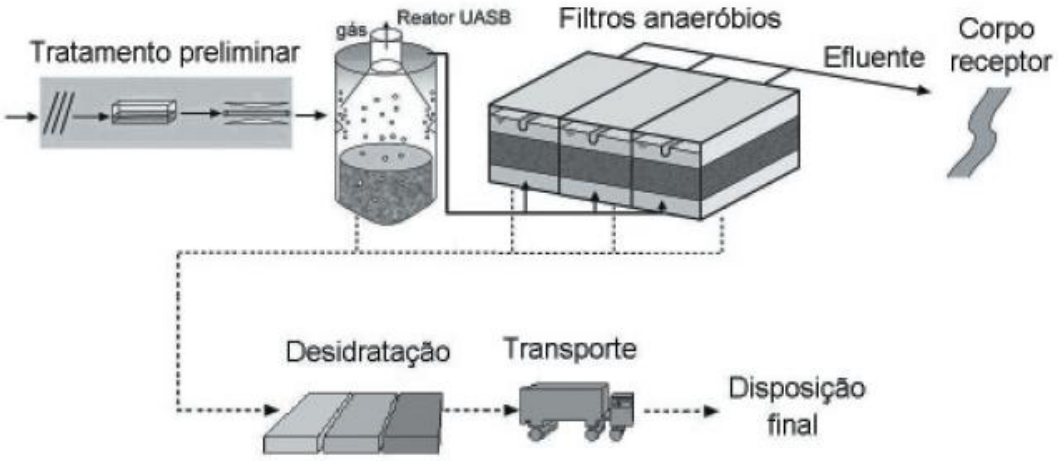


Figura 4: Sistema utilizando reator UASB seguido por filtro anaeróbio
Fonte: ReCESA (2008)

Reator UASB seguido por filtro biológico percolador

A maior parte da matéria orgânica é removida no reator UASB, e o filtro biológico percolador permite uma remoção complementar da DBO, além de alguma remoção de amônia no caso de filtros de baixa taxa, pelo processo de nitrificação. Essa configuração permite eficiência de remoção de DBO bastante superior ao sistema UASB associado ao filtro anaeróbio, alcançando até 93%, segundo Von Sperling (2005) e apresentado na Tabela 3 do presente estudo.

No filtro biológico percolador, assim como ocorre nos filtros anaeróbios, a biomassa cresce aderida a um material de enchimento, que pode ser constituído de pedras e outros materiais. A grande diferença entre esses dois sistemas, é que o filtro biológico percolador funciona em presença de oxigênio, ou seja, é aeróbio.

É importante destacar que o lodo aeróbio gerado no filtro biológico percolador, ainda não estabilizado, pode ser enviado ao reator UASB, onde sofre adensamento e digestão, juntamente com o lodo anaeróbio. Dessa forma, o tratamento do lodo é grandemente simplificado, havendo apenas a etapa de desidratação nos leitos de secagem, conforme pode ser observado no fluxograma detalhado apresentado na Figura 5.

Ressalta-se que apesar desse fluxograma ser simplificado e indicado para unidades de pequeno e médio porte, é utilizado para tratamento de esgoto de 1,5 milhões de habitantes na ETE Onça em Belo Horizonte/MG (COPASA, 2013).

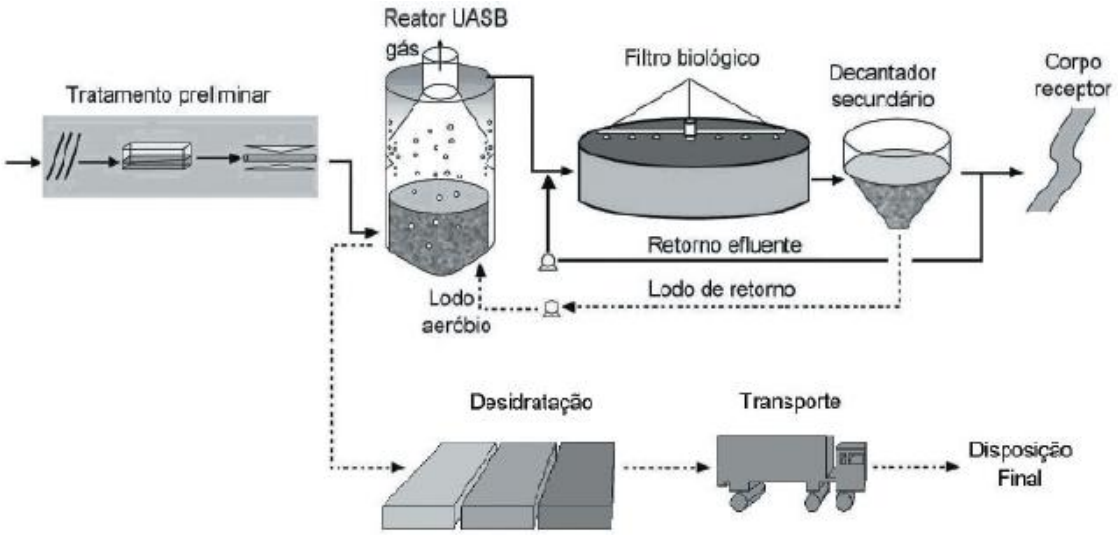


Figura 5: Sistema utilizando reator UASB seguido por filtro biológico percolador
Fonte: ReCESA (2008)

Reator UASB seguido por lagoas de polimento

As lagoas de polimento são alternativas bastante atrativas para o pós-tratamento do efluente do reator UASB. Essas realizam tanto a função de remoção complementar de DBO como a função de maturação, com boas eficiências de remoção de organismos patogênicos. Entretanto, sua utilização está limitada pela disponibilidade de área. Essa demanda por habitante é bastante elevada quando comparada com os fluxogramas de UASB associado ao filtro anaeróbio e UASB associado ao filtro biológico percolador.

Por fim, ressalta-se ainda que esse fluxograma, apresentado na Figura 6, pode alcançar elevada eficiência de nitrificação, reduzindo de maneira satisfatória a concentração de amônia no efluente final.

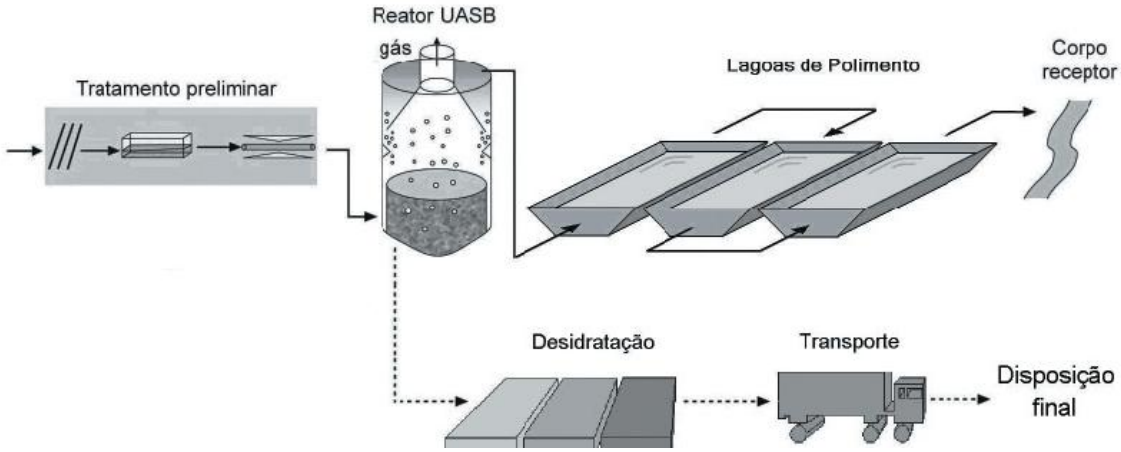


Figura 6: Sistema utilizando reator UASB seguido por lagoa de polimento
Fonte: ReCESA (2008)

Reator UASB seguido por aplicação no solo

O esgoto proveniente do reator UASB é aplicado de forma intermitente na parte superior de terrenos com certa declividade, através dos quais escoa, até ser coletado por valas na parte inferior. O terreno deve ser plantado com uma vegetação resistente ao alagamento, para auxiliar no tratamento do esgoto e evitar a erosão do terreno. Esse sistema, além da remoção complementar da DBO, pode ainda ser empregado para a remoção de nitrogênio, o que ocorre por interações químicas no solo e absorção pela biomassa vegetal. Outro aspecto importante é a possibilidade de atendimento conjunto, pelo sistema, aos objetivos de tratamento do esgoto e de irrigação, constituindo-se, assim, numa forma de reuso do efluente.

Essa tecnologia, não é muito utilizada no Brasil, apesar de ter sido amplamente estudada pelo mais importante programa de pesquisa nacional em saneamento, o Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB.

Na Figura 7, encontra-se apresentado o fluxograma composto por reator UASB e aplicação no solo.

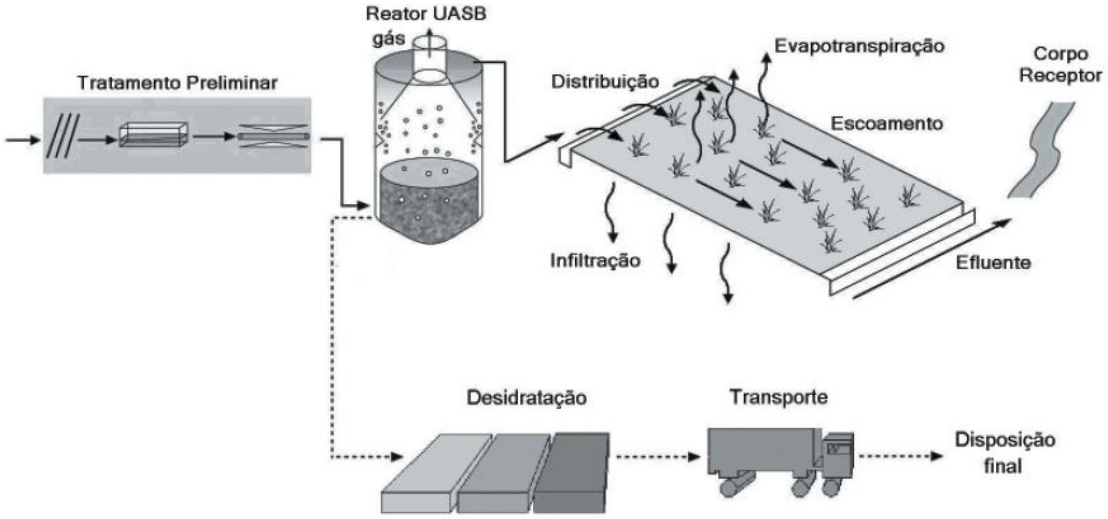


Figura 7: Sistema utilizando reator UASB seguido por aplicação no solo
Fonte: ReCESA (2008)

3.5.2 Valores típicos dos sistemas de tratamento de esgotos

Para a avaliação do desempenho dos sistemas de tratamento de esgotos, é necessário o conhecimento dos valores típicos neles usualmente observados tanto de concentração efluente de parâmetros de qualidade de água, bem como suas eficiências de remoção.

Na Tabela 2, podem-se observar os valores típicos de concentração efluente de matéria orgânica, sólidos, nutrientes, indicadores de contaminação fecal e ovos de helmintos para os sistemas simplificados descritos neste trabalho. Já na Tabela 3, para os mesmos parâmetros mencionados e para os mesmos sistemas, podem-se observar suas eficiências de remoção.

Tabela 2: Valores típicos de concentrações médias efluentes

	Qualidade média do efluente							
Sistema	**DBO_5 (mg/L)**	**DQO (mg/L)**	**SS (mg/L)**	**Amônia-N (mg/L)**	**N total (mg/L)**	**P total (mg/L)**	**Cter[a] (NMP/100mL)**	**Ovos helm.[b] (ovo/L)**
Lagoa anaeróbia + facultativa + maturação	40 a 70	100 a 180	50 a 80	10 a 15	10 a 20	< 4	10^2 a 10^4	< 1
Tanque séptico + filtro anaeróbio	40 a 80	100 a 200	30 a 60	> 15	> 20	> 4	10^6 a 10^7	> 1
UASB + filtro anaeróbio	40 a 80	100 a 200	30 a 60	> 15	> 20	> 4	10^6 a 10^7	> 1
UASB + filtro biológico percolador	20 a 60	70 a 180	20 a 40	> 15	> 20	> 4	10^6 a 10^7	> 1
UASB + lagoas de polimento	40 a 70	100 a 180	50 a 80	10 a 15	15 a 20	< 4	10^2 a 10^4	< 1
UASB + escoamento superficial	30 a 70	90 a 180	20 a 60	10 a 20	> 15	> 4	10^4 a 10^6	< 1

[a] Coliformes Termotolerantes
[b] Ovos de Helmintos

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005) *apud* ReCESA (2008)

Tabela 3: Valores típicos de eficiências médias de remoção

	Eficiência média de remoção						
Sistema	**DBO (%)**	**DQO (%)**	**SS (%)**	**Amônia - N (%)**	**N total (%)**	**P total (%)**	**CTer (unid. Log)**
Lagoa anaeróbia + facultativa + maturação	80 a 85	70 a 83	73 a 83	50 a 65	50 a 65	< 50	3 a 5
Tanque séptico + filtro anaeróbio	80 a 85	70 a 80	80 a 90	> 45	> 60	> 35	1 a 2
UASB + filtro anaeróbio	75 a 87	70 a 80	80 a 90	> 50	> 60	> 35	1 a 2
UASB + filtro biológico percolador	80 a 93	73 a 83	87 a 93	> 50	> 60	> 35	1 a 2
UASB + lagoas de polimento	77 a 87	70 a 83	73 a 83	50 a 65	50 a65	< 50	3 a 5
UASB + escoamento superficial	77 a 90	70 a 85	80 a 93	35 a 65	> 65	> 35	2 a 3

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005) *apud* ReCESA (2008)

Observa-se que a concentração de DBO e de DQO do efluente final, para todos os sistemas simplificados fica no intervalo de 20 a 80 mg/L e 70 a 200 mg/L, respectivamente, sendo a tecnologia UASB mais filtro biológico percolador a mais eficiente nos dois casos. Em relação à remoção de amônia, essa somente é satisfatória em fluxogramas com lagoas ou escoamento superficial. No caso do parâmetro fósforo, sua remoção é satisfatória somente em sistemas com lagoas. Conforme já mencionado, a remoção de organismos patogênicos também é alcançada com boas eficiências, somente nas unidades com lagoas.

Por fim, na Tabela 4, encontram-se apresentadas importantes relações de demanda de área, de energia, custos e produção de lodo dos mesmos sistemas simplificados já descritos e nela, pode-se observar a grande diferença de demanda de área das unidades com lagoas em relação às demais.

Tabela 4: Características típicas dos principais sistemas de tratamento de esgotos

		Potência para aeração (W/hab)		Volume de lodo (L/hab.ano)		Custos (R$/hab)	
Sistema	**Demanda de área (m²/hab)**	**Instalada**	**Consumida por ano**	**Líquido a ser tratado**	**Desidratado a ser disposto**	**Instalação**	**O&M por ano**
Lagoa anaeróbia + facultativa + maturação	3,0 a 5,0	0	0	55 a 160	20 a 60	50 a 100	2,5 a 5,0
Tanque séptico + filtro anaeróbio	0,2 a 0,35	0	0	180 a 1000	25 a 50	80 a 130	6,0 a 10,0
UASB + filtro anaeróbio	0,05 a 0,15	0	0	150 a 300	10 a 50	45 a 70	3,5 a 5,5
UASB + filtro biológico percolador	0,1 a 0,2	0	0	180 a 400	15 a 55	60 a 90	5,0 a 7,5
UASB + lagoas de polimento	1,5 a 2,5	0	0	150 a 250	10 a 35	40 a 70	4,5 a 7,0
UASB + escoamento superficial	1,5 a 3,0	0	0	70 a 220	10 a 35	50 a 90	5,0 a 7,0

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005) *apud* ReCESA (2008)

3.5.3 Considerações para o dimensionamento dos sistemas simplificados

Para a realização de dimensionamento de determinadas unidades do tratamento de efluentes domésticos, se faz necessário uma série de considerações a serem levadas em conta, principalmente quando essas unidades são dimensionadas para vazões muito pequenas, como é o caso do presente estudo. A seguir serão apresentadas essas considerações para cada etapa do tratamento, de acordo com as recomendações de Jordão e Volschan (2009).

Tratamento Preliminar

- Para vazões inferiores a 250 L/s, é recomendável utilizar apenas as grades finas, desarenador e Calha Parshall, sendo estes de limpeza manual;

- Apenas o sistema Tanque Séptico associado ao Filtro Anaeróbio não é precedido de tratamento preliminar, devido à baixa extensão de redes coletoras e consequentemente pouca quantidade de sólidos grosseiros;
- Mesmo as contribuições de até 250 domicílios devem conter o tratamento preliminar, com exceção dos sistemas tanque séptico + filtro anaeróbio que tenham vazão inferior a 1,0 L/s;
- Nas grades finas, adota-se a velocidade mínima de 0,6 m/s para garantir um número de barras considerável, provocando também o aumento da largura da seção;
- Deve ser garantida a velocidade de escoamento de 0,3 m/s no canal da Calha Parshall;
- Para vazões compreendidas entre 0,11 e 5,60 L/s, indica-se a utilização da seção da "garganta" 1" para o dimensionamento da Calha Parshall;

Reator UASB

- As diretrizes do dimensionamento estão descritas na NBR 12209/2011;
- Para pequenas vazões indica-se o dimensionamento de reatores cilíndricos, já que estes são encontrados no mercado pré-fabricados e montados no próprio local;
- O tempo de detenção hidráulica deve estar entre 6 e 9 horas para temperaturas típicas entre 20 e 26 ºC;
- A Carga Orgânica Volumétrica (COV) deve estar entre 2,5 e 3,5 kg DQO/(d.m^3);
- A velocidade ascensional de fluxo deve estar entre 0,5 e 0,7 m/h para vazão média e 0,9 e 1,1 m/h para vazão máxima;
- A profundidade útil do reator deverá estar entre 5 e 6 m;
- A angulação das cortinas dos decantadores deve ser maior que 50º;
- A profundidade dos decantadores deve estar entre 1,5 e 2,0 m;
- A taxa de aplicação superficial nos decantadores deve estar compreendida entre 0,6 e 0,8 m/h para vazão média e menor que 1,2 m/h para vazão máxima;
- Para tempo de detenção hidráulica do decantador, indica-se que este esteja entre 1,5 e 2,0 h para vazão média e maior que 1,0 h para vazão máxima;

- A velocidade de passagem nas aberturas do decantador deve ser menor que 2,3 m/h para vazão média e 4,2 m/h para vazão máxima;
- Os tubos de amostragem da manta e do leito de lodo devem estar distantes 0,5, 1,0 e 1,5 m do fundo;
- Deve haver um tubo de descarte do lodo no fundo e a 1,2 m do fundo;

Lagoa de Polimento

- O tempo de detenção hidráulica deve estar situado entre 9 e 12 dias;
- A profundidade das lagoas deve estar entre 0,4 a 1,0 m;

Tanque Séptico e Filtro Anaeróbio

- Para evitar perturbações ao seu funcionamento, a forma prismática retangular do tanque séptico é a mais indicada;
- A relação entre o comprimento (L) e a largura (B) para fossas prismáticas retangulares deve ser: $2 < L/B < 4$ e $B > 0,80$ m;
- A profundidade útil (Hu) deve estar compreendida entre 1,80 e 2,80 m;
- A altura do meio suporte do filtro anaeróbio é de no máximo 1,20 m, já incluída a distância entre o fundo da unidade e o fundo falso, sendo que este deve ser menor que 0,6 m já incluída a espessura da laje de fundo;
- Para contribuições acima de 100 habitantes não são aplicáveis as unidades cilíndricas.

3.6 Aspectos Legais

3.6.1 Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde

Esta portaria dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Segundo a portaria, toda água destinada ao consumo humano, distribuída coletivamente por meio de sistema ou solução alternativa coletiva de abastecimento de água, deve ser objeto de controle e vigilância da qualidade da água. A seguir serão destacadas duas definições estabelecidas na Portaria 2914/2011 que são de interesse neste estudo:

- **Sistema de abastecimento de água para consumo humano**: instalação composta por um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, desde a zona de captação até as ligações prediais, destinada à produção e ao fornecimento coletivo de água potável, por meio de rede de distribuição;
- **Solução alternativa coletiva de abastecimento de água para consumo humano**: modalidade de abastecimento coletivo destinada a fornecer água potável, com captação subterrânea ou superficial, com ou sem canalização e sem rede de distribuição.

Competências do Município

Com relação às competências dos municípios, pode-se destacar que é dever do poder público local: inspecionar o controle da qualidade da água produzida e distribuída e as práticas operacionais adotadas no sistema ou solução alternativa coletiva de abastecimento de água; manter articulação com as entidades de regulação quando detectadas falhas relativas à qualidade dos serviços de abastecimento de água; garantir informações à população; encaminhar ao responsável pelo sistema ou solução alternativa coletiva de abastecimento de água informações sobre surtos e agravos à saúde relacionados à qualidade da água para consumo humano; realizar, em parceria com os Estados, nas situações de surto de doença diarréica aguda ou outro agravo de transmissão feco-oral, análise microbiológica completa; cadastrar e autorizar o fornecimento de água tratada, por meio de solução alternativa coletiva, mediante avaliação e aprovação dos documentos exigidos. Salienta-se também que a autoridade municipal de saúde pública não autorizará o fornecimento de água para consumo humano, por meio de solução alternativa coletiva, quando houver rede de distribuição de água, exceto em situação de emergência e intermitência.

Competências do responsável

Com relação ao responsável pelo sistema ou solução alternativa de abastecimento de água, é dever do mesmo garantir a operação e a manutenção das instalações destinadas ao abastecimento de água potável em conformidade com as normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT); manter e controlar a qualidade da água produzida e distribuída; manter avaliação sistemática; encaminhar à autoridade de saúde pública dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios relatórios das análises dos parâmetros mensais, trimestrais e semestrais com informações sobre o controle da qualidade da água; monitorar a qualidade da água no ponto de captação; comunicar aos órgãos ambientais, aos gestores de

recursos hídricos e ao órgão de saúde pública dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios qualquer alteração da qualidade da água no ponto de captação; executar ações cabíveis para proteção do(s) manancial(ais) de abastecimento(s) e das bacia(s) hidrográfica(s); proporcionar mecanismos para recebimento de reclamações e manter registros atualizados sobre a qualidade da água distribuída; comunicar imediatamente à autoridade de saúde pública municipal e informar adequadamente à população a detecção de qualquer risco à saúde; assegurar pontos de coleta de água na saída de tratamento e na rede de distribuição; deve requerer, junto à autoridade municipal de saúde pública, autorização para o fornecimento de água tratada. Deve-se ressaltar também que a água proveniente de solução alternativa coletiva ou individual, para fins de consumo humano, não poderá ser misturada com a água da rede de distribuição.

Exigências Aplicáveis

As principais exigências relacionadas aos sistemas de abastecimento de água são:

- Todo sistema de abastecimento de água para consumo humano deve contar com responsável técnico habilitado.
- Toda água para consumo humano, fornecida coletivamente, deverá passar por processo de desinfecção ou cloração.
- A rede de distribuição de água para consumo humano deve ser operada sempre com pressão positiva em toda sua extensão.
- As águas provenientes de manancial superficial devem ser submetidas a processo de filtração.

Padrão de Potabilidade

Devem ser destacados os seguintes pontos contidos na Portaria 2914/2011:

- Os responsáveis pelo controle da qualidade da água de sistemas ou soluções alternativas coletivas de abastecimento de água para consumo humano, supridos por manancial superficial e subterrâneo, devem coletar amostras semestrais da água bruta, no ponto de captação, para análise de acordo com os parâmetros exigidos nas legislações específicas, com a finalidade de avaliação de risco à saúde humana.
- A água potável deve estar em conformidade com padrão microbiológico.

- Na rede de distribuição, quando forem detectadas amostras com resultado positivo para coliformes totais, ações corretivas devem ser adotadas e novas amostras devem ser coletadas em dias imediatamente sucessivos até que revelem resultados satisfatórios.
- Nos sistemas de distribuição, as novas amostras devem incluir no mínimo uma recoleta no ponto onde foi constatado o resultado positivo para coliformes totais e duas amostras extras, sendo uma à montante e outra à jusante do local da recoleta.
- O resultado negativo para coliformes totais das recoletas não anula o resultado originalmente positivo no cálculo dos percentuais de amostras com resultado positivo.
- Quando houver interpretação duvidosa nas reações típicas dos ensaios analíticos na determinação de coliformes totais e *Escherichia coli*, deve-se fazer a recoleta.
- A determinação de bactérias heterotróficas deve ser realizada como um dos parâmetros para avaliar a integridade do sistema de distribuição (reservatório e rede).
- Na seleção dos locais para coleta de amostras devem ser priorizadas pontas de rede e locais que alberguem grupos populacionais de risco à saúde humana.
- Entre os 5% dos valores permitidos de turbidez superiores ao VMP (valor máximo permitido) estabelecidos na Tabela 5, para água subterrânea com desinfecção, o limite máximo para qualquer amostra pontual deve ser de 5,0 uT, assegurado, simultaneamente, o atendimento ao VMP de 5,0 uT em toda a extensão do sistema de distribuição (reservatório e rede).
- Entre os 5% das amostras que podem apresentar valores de turbidez superiores ao VMP estabelecido, o limite máximo para qualquer amostra pontual deve ser menor ou igual a 1,0 uT, para filtração rápida e menor ou igual a 2,0 uT para filtração lenta.
- Os sistemas ou soluções alternativas coletivas de abastecimento de água supridas por manancial subterrâneo com ausência de contaminação por *Escherichia coli* devem realizar cloração da água mantendo o residual mínimo do sistema de distribuição (reservatório e rede).
- Quando o manancial subterrâneo apresentar contaminação por *Escherichia coli*, no controle do processo de desinfecção da água, devem ser observados os valores do produto de concentração residual de desinfetante na saída do tanque de contato e o tempo de contato expressos na portaria ou a dose mínima de radiação ultravioleta.

- A avaliação da contaminação por *Escherichia coli* no manancial subterrâneo deve ser feita mediante coleta mensal de uma amostra de água em ponto anterior ao local de desinfecção.
- Na ausência de tanque de contato, a coleta de amostras de água para a verificação da presença/ausência de coliformes totais em sistemas de abastecimento e soluções alternativas coletivas de abastecimento de águas, supridas por manancial subterrâneo, deverá ser realizada em local à montante ao primeiro ponto de consumo.
- É obrigatória a manutenção de, no mínimo, 0,2 mg/L de cloro residual livre ou 2 mg/L de cloro residual combinado ou de 0,2 mg/L de dióxido de cloro em toda a extensão do sistema de distribuição (reservatório e rede).
- Recomenda-se que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5.
- Recomenda-se que o teor máximo de cloro residual livre em qualquer ponto do sistema de abastecimento seja de 2 mg/L.

Além disso, vale destacar que esta legislação define um padrão de turbidez para pós-filtração ou pré-desinfecção, como mostrado na Tabela 5.

Tabela 5: Tabela de padrão de turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção

Tratamento da água	Valor Máximo Permitido
Desinfecção (para águas subterrâneas)	1,0 uT em 95% das amostras
Filtração rápida (tratamento completo ou filtração direta)	0,5 uT em 95% das amostras
Filtração lenta	1,0 uT em 95% das amostras

Fonte: Adaptado da Portaria nº 2914/2011

Planos de Amostragem

Os responsáveis pelo controle da qualidade da água de sistemas ou soluções alternativas coletivas de abastecimento de água para consumo humano, supridos por manancial superficial e subterrâneo, devem coletar amostras semestrais da água bruta, no ponto de captação, para análise de acordo com os parâmetros exigidos nas legislações específicas, com a finalidade de avaliação de risco à saúde humana. Também devem elaborar e submeter para análise da

autoridade municipal de saúde pública, o plano de amostragem de cada sistema e solução, respeitando os planos mínimos de amostragem expressos na portaria 2914/2011.

A seguir, encontra-se a Tabela 6 com os principais parâmetros analisados em águas para consumo humano e seus principais Valores Máximos Permitidos - VMP, estipulados pela Portaria 2914/2011.

Tabela 6: Parâmetros da água potável e seus VMP estabelecidos na Portaria 2914/2011

Parâmetro	**VMP[a]**
Alumínio	0,2 mg/L
Amônia (NH_3)	1,5 mg/L
Cor aparente	15 uH[b]
Cloreto	250 mg/L
Dureza total	500 mg/L
Ferro	0,3 mg/L
Manganês	0,1 mg/L
Sódio	200 mg/L
Sólidos dissolvidos totais	1000 mg/L
Zinco	5 mg/L
Cloro residual livre	5 mg/L
Trihalometanos total	0,1 mg/L
Escherichia coli	Ausência em 100 mL

[a] VMP = Valor Máximo Permitido

[b] uH = Unidade Hazen (mg PtCo/L)

Fonte: Adaptado da Portaria nº 2914/2011

Com relação ao número e freqüência de coleta de amostras para mananciais subterrâneos, indica-se: uma amostragem semanal, referente à cor, na saída do tratamento e cinco amostras mensais na rede de distribuição de água; para o cloro residual, uma amostragem na saída do tratamento duas vezes por semana, assim como para pH e turbidez; e para os demais parâmetros, uma amostra na saída do tratamento e uma na rede de distribuição, sendo estas semestrais.

3.6.2 Resolução CONAMA nº 396/2008

A CONAMA nº 396/2008 dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas. As águas subterrâneas são classificadas em seis classes (especial, 1, 2, 3, 4 e 5) de acordo com as alterações sofridas pelas ações antrópicas. Além disso, estabelece diretrizes para a prevenção e controle da poluição das águas subterrâneas. Por fim, define os parâmetros de qualidade de água de acordo com seus usos preponderantes.

3.6.3 Resolução CONAMA nº 357/2005

A Resolução CONAMA nº 375/2005, atualmente somente dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Desde 2011, com a implantação da Resolução CONAMA nº 430, a CONAMA 357 deixou de estabelecer as condições e padrões de lançamento de efluentes.

Assim, a Resolução CONAMA 357 classifica as águas superficiais em: águas doces (classes especial, 1, 2, 3 e 4), salobras (classes especial, 1, 2, 3), ou salinas (classes especial, 1, 2, 3), de acordo com a qualidade requerida para seus usos preponderantes.

Dessa forma, a legislação define, para cada uma das 13 classes descritas acima, limites para parâmetros físico-químicos e microbiológicos que determinam a sua qualidade, além de estabelecer as diretrizes para o enquadramento de corpos d'água.

Nas bacias hidrográficas em que a condição de qualidade dos corpos de água esteja em desacordo com os usos preponderantes pretendidos, deverão ser estabelecidas metas obrigatórias, intermediárias e finais, de melhoria da qualidade da água para efetivação dos respectivos enquadramentos, excetuados nos parâmetros que excedam aos limites devido às condições naturais. Especificamente com relação a efluentes domésticos, para se alcançar o enquadramento, o ideal é o tratamento dos mesmos.

3.6.4 Resolução CONAMA nº 430/2011

A Resolução CONAMA nº 430/2011 tem por objetivo definir critérios para lançamento de efluentes e estabelece condições, parâmetros, padrões e diretrizes para a gestão do lançamento de efluentes em corpos receptores.

Inicialmente a legislação classifica os efluentes como: 1) efluentes domésticos; e 2) efluentes de qualquer outra fonte poluidora. Essa classificação permite estabelecimento de valores

máximos e/ou eficiências mínimas exigidos levando-se em consideração os diferentes potenciais poluidores que cada um deles oferece. No caso do parâmetro DBO, sua concentração final limite para lançamento no caso de esgoto doméstico é de 120 mg/L, sendo que deve ser mantida uma eficiência mínima de remoção de 60% para o mesmo parâmetro. Esta ressalva contempla efluentes que possuam altas concentrações de DBO e que, mesmo passando por tratamento, não alcançam a concentração de 120 mg/L.

Por se tratar de uma resolução federal, muitas vezes os parâmetros e características estabelecidas se tornam pouco restritivos, já que o país possui vasta extensão territorial e características distintas, como população, economia, clima, entre outros fatores, que devem ser levados em conta. Assim, alguns estados brasileiros adotam legislações estaduais para lançamento de efluentes mais restritivas. No caso do estado de Minas Gerais, esta é a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH 01/2008.

3.6.5 Deliberação Normativa Conjunta COPAM – CERH 01/2008

Essa legislação estadual, além de classificar os corpos d'água superficiais em geral e dar diretrizes ambientais para o seu enquadramento, estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, assim como era a Resolução CONAMA 357/2005 antes da implantação da CONAMA 430/2011, na esfera federal.

A COPAM – CERH 01/2008 será utilizada no presente trabalho como referência e, portanto, limites para alguns parâmetros que estabelecem o padrão de lançamento de efluentes, abordados por ela serão destacados a seguir:

- pH entre 6,0 a 9,0;
- Temperatura: inferior a 40ºC, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3ºC no limite da zona de mistura, desde que não comprometa os usos previstos para o corpo d'água;
- 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:

a) óleos minerais: até 20mg/L;

b) óleos vegetais e gorduras animais: até 50mg/L.

- Ausência de materiais flutuantes;
- DBO até 60 mg/L ou tratamento com eficiência de redução de DBO em no mínimo 60% e média anual igual ou superior a 70% para sistemas de esgotos sanitários.
- DQO até 180 mg/L ou tratamento com eficiência de redução de DQO em no mínimo 55% e média anual igual ou superior a 65% para sistemas de esgotos sanitários;
- Sólidos em suspensão totais até 100 mg/L, sendo 150 mg/L nos casos de lagoas de estabilização.

Conhecendo os padrões de lançamento, percebe-se claramente a diferença de restrição em relação ao parâmetro DBO entre a legislação federal e a estadual. Para atender a legislação do estado de Minas Gerais, pode-se lançar no corpo receptor um efluente de sistemas de esgotamento sanitário com até 60 mg/L e segundo a legislação federal, esta concentração poderia ser de até 120 mg/L.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Sistema de Abastecimento de Água

4.1.1 Caracterização das fontes de abastecimento

Para a caracterização das fontes de abastecimento de água, inicialmente realizou-se um levantamento da localização dos poços e nascentes que abastecem as sete comunidades rurais através do uso do GPS map 76CS x Garmin, de fotografias dos locais e de informações fornecidas pela população. Na Tabela 7 serão mostradas as coordenadas geográficas de cada ponto e sua respectiva altitude, além do tipo de fonte utilizada.

Tabela 7: Coordenadas geográficas de cada poço/nascente e tipo de fonte

Numeração das amostras	Distrito	Latitude	Longitude	Altitude	Tipo de Fonte
1	Fortaleza	21º57’56,3” S	43º29’09,0” W	606 m	Poço artesiano
2	Vila Klabin	21º56’40,1” S	43º26’28,4” W	528 m	Nascente
3	Vila São Francisco	21º54’30,5” S	43º23’11,4” W	460 m	Poço artesiano
4	Sobragy	21º57’50,6” S	43º22’21,4” W	451 m	Poço artesiano
5	Três Ilhas	22º03’37,9” S	43º26’23,2” W	385 m	Nascente
6	Porto das Flores	22º04’55,0” S	43º33’31,3” W	392 m	Poço artesiano
7	São José das Três Ilhas	22º01’52,5” S	43º29’02,2” W	603 m	Poço artesiano

Nas Figuras 8a, 8b, 8c, 8d e 8e, são mostradas as imagens dos poços utilizados em cinco distritos. Como apresentado na Tabela 7, os distritos de Três Ilhas e Vila Klabin são abastecidos por nascentes espalhadas na região e de difícil acesso, o que dificultou o acesso aos locais para posterior registro. Sendo assim são mostradas apenas cinco das sete fontes de abastecimento de água utilizadas na zona rural do município de Belmiro Braga.

a) Fortaleza

b) Porto das Flores

c) São José das Três Ilhas

d) Sobragy

e) Vila São Francisco

Figura 8: Poços utilizados para o abastecimento da população rural do município de Belmiro Braga

Fonte: Acervo pessoal

A localização das sete fontes nos distritos é mostrada na Figura 9. Como pode-se perceber, os distritos de Porto das Flores e Três Ilhas estão localizados na divisa entre o estado de Minas Gerais e Rio de Janeiro.

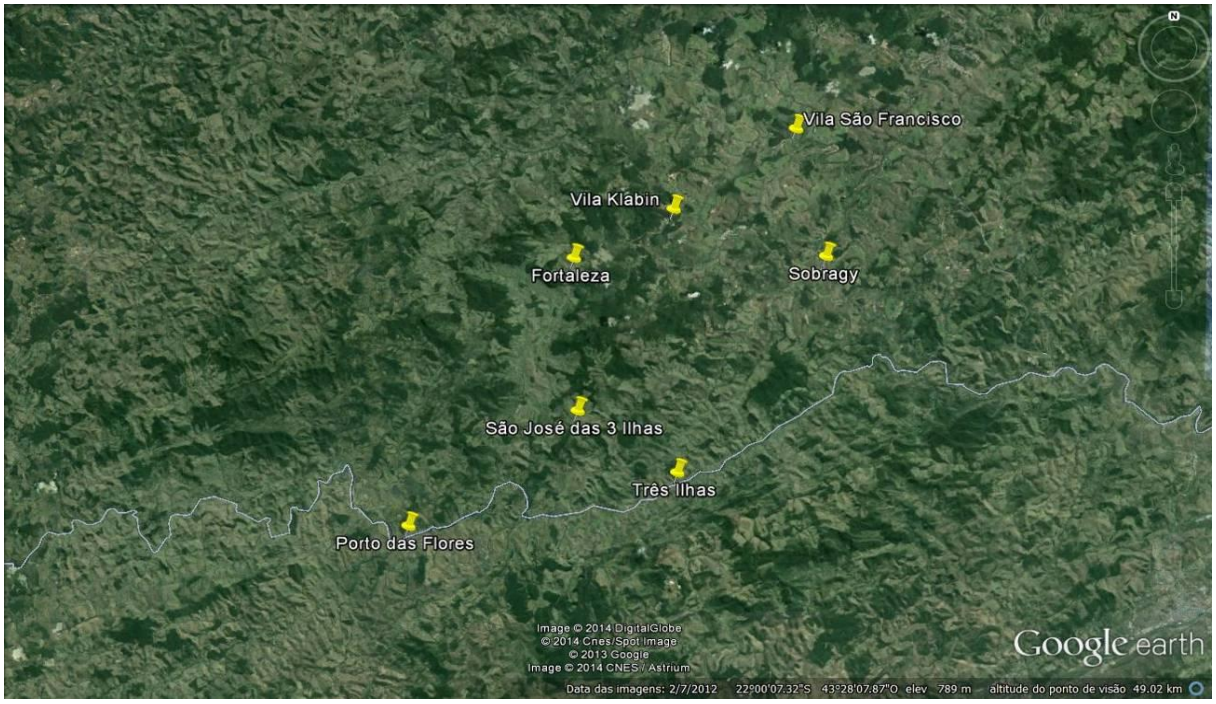


Figura 9: Localização dos sete distritos do município de Belmiro Braga
Fonte: Google Earth (2014)

Nos sete distritos, o abastecimento de água ocorre de forma semelhante. Em cinco das sete comunidades, a água é captada em mananciais subterrâneos através de bombeamento, sendo transportada para um reservatório, onde ocorre distribuição da água através das redes de abastecimento. Nos distritos de Vila Klabin e Três Ilhas, a reservação e distribuição da água ocorrem da mesma forma, porém utilizam-se nascentes como mananciais. Nestas duas comunidades, assim que a água das nascentes chega à superfície, esta é captada e levada até o reservatório de distribuição.

4.1.2 Planejamento experimental

Realizaram-se duas campanhas de amostragem nos dias 21 de abril e 20 de maio do ano de 2014, todas iniciadas às 8 h da manhã. Devido às grandes distâncias entre os sete locais de amostragens, realizou-se o transporte de carro com tempo entre as coletas de aproximadamente 30 min. A rota para a coleta das amostras iniciou-se na comunidade de São José das Três Ilhas, seguindo por Fortaleza, Vila Klabin, Vila São Francisco, Sobragy, Três Ilhas, Porto das Flores, sendo que a última amostra foi coletada na localidade de onde a rota

começou. A distância total percorrida em cada campanha de amostragem chegou a aproximadamente 70 km.

As coletas das amostras foram do tipo simples, feitas em torneiras ligadas diretamente à rede coletiva de distribuição de água, sendo assim localizadas após os reservatórios de cada localidade, porém antecedendo a chegada até as residências. Utilizaram-se garrafas PET de 510 mL limpas e estas foram numeradas em 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7, correspondendo, respectivamente, às fontes dos distritos de Fortaleza, Vila Klabin, Vila São Francisco, Sobragy, Três Ilhas, Porto das Flores e São José das Três Ilhas. Posteriormente cada amostra foi preservada em isopor com gelo e levadas para análise no dia seguinte à coleta no Laboratório de Mecânica dos Fluidos da Faculdade de Engenharia da UFJF. As etapas de amostragem e preservação de amostras seguiram as especificações da NBR 9898/1987, que determina para cada parâmetro a ser analisado o tipo de frasco, volume mínimo, o tipo de amostra, a preservação e o prazo de análise.

4.1.3 Análise das amostras

Os parâmetros analisados foram: pH, cor, turbidez, condutividade elétrica, sólidos dissolvidos totais (SDT) e salinidade. No caso da cor, esta pode ser dividida em cor verdadeira, proveniente das partículas dissolvidas na mesma, e em cor aparente, que é influenciada pela presença de sólidos suspensos. No presente estudo, a cor avaliada faz referência à cor aparente, pois esta é a analisada pelo medidor de cor Alfakit. O pH, condutividade, salinidade e SDT foram medidos através da Sonda Multiparâmetro Hanna HI9828, enquanto que para a turbidez, utilizou-se o turbidímetro DLT-WV Del Lab. Para realização das medições, todos os aparelhos foram calibrados com o objetivo de diminuir os erros gerados. As unidades para cada parâmetro são mostradas a seguir, na Tabela 8.

Tabela 8: Parâmetros e respectivas unidades utilizadas

Parâmetro	Unidade
pH	-
Cor	mg PtCo/L[a]
Turbidez	uT[b]
Condutividade elétrica	µS/cm
SDT	ppm ou mg/L
Salinidade	%

[a] Unidades Hazen
[b] Unidades de Turbidez

Para a obtenção dos valores médios encontrados para pH, condutividade elétrica, salinidade e sólidos dissolvidos totais anotaram-se três valores mostrados na tela do aparelho, sendo estas anotações espaçadas em 30 segundos. Posteriormente, calculou-se a média aritmética entre os três valores anotados e seu respectivo desvio padrão.

Já para a turbidez realizou-se este procedimento três vezes, anotando os valores gerados pelo aparelho e realizando também o cálculo da média aritmética entre os três valores e do desvio padrão.

A análise da cor seguiu o mesmo procedimento da turbidez, porém só foram realizadas apenas duas repetições na primeira amostragem e uma leitura na segunda amostragem, devido a problemas com o aparelho.

4.2 Sistema de Esgotamento Sanitário

4.2.1 Caracterização do local de estudo

Inicialmente, para a proposição de um sistema de tratamento de esgoto de cada distrito, foram levantados dados sobre a população residente, a disponibilidade de área, a presença ou ausência de rede de coleta de esgoto e o corpo receptor em cada localidade que atualmente recebe os esgotos sem tratamento. Na Tabela 9 são destacadas as características anteriormente citadas.

Dentre os sete distritos do município, apenas o distrito de Três Ilhas já possui um sistema de fossa séptica para tratar os esgotos das dez famílias residentes na área. Sendo assim, foram propostos apenas seis sistemas.

Tabela 9: Principais características dos distritos

Distritos	População Média (habitantes)	Presença de Rede	Corpo Receptor
Fortaleza	160	Sim	Córrego para o Rio Paraibuna
Porto das Flores	295	Sim	Rio Preto
São José das Três Ilhas	206	Sim	Córrego para o Rio Preto
Sobragy	279	Sim	Rio Paraibuna
Vila Klabin	189	Sim	Córrego para o Rio Paraibuna
Vila São Francisco	214	Sim	Rio do Peixe

Fonte: Secretaria de Saúde de Belmiro Braga

Devido à baixa densidade populacional do município, a quantidade de área disponível para implantação dos sistemas é grande em todas as comunidades. A seguir, nas Figuras 10a, 10b, 10c, 10d, 10e e 10f são mostrados os pontos de lançamento de esgoto doméstico nos corpos d'água de cada distrito.

a) Fortaleza

b) Porto das Flores

c) São José das Três Ilhas

d) Sobragy

e) Vila Klabin

f) Vila São Francisco

Figura 10: Locais de lançamento do esgoto doméstico em cada distrito
Fonte: Acervo pessoal

Ressalta-se que conforme pode ser observado nas Figuras 10b e 10d, as residências próximas ao rio lançam seus esgotos diretamente no corpos d'água e as residências mais afastadas lançam na rede coletora.

Após conhecer algumas características, foram escolhidos os sistemas simplificados ideais para cada comunidade, para o posterior cálculo de dimensionamento para cada sistema e estimativa de custos e área requerida de acordo com a Tabela 4, citada na revisão bibliográfica.

4.2.2 Dimensionamento dos sistemas simplificados

Por simplificação, foram dimensionados apenas dois fluxogramas para todos os distritos. Nos distritos com mais de 250 habitantes (Porto das Flores e Sobragy) adotou-se o sistema composto pelo tratamento preliminar, reator UASB e lagoa de polimento. Para os demais distritos, com menos de 250 habitantes, dimensionou-se o sistema com tanque séptico associado ao filtro anaeróbio.

Esses fluxogramas foram adotados não em função exclusivamente de melhor desempenho e sim, levando-se em consideração características próprias do local como disponibilidade de área e preocupação com a maior simplicidade operacional possível por se tratar de uma área rural

A seguir, na Tabela 10, são mostrados os principais parâmetros utilizados para os cálculos. No caso do parâmetro vazão *per capita* de água, adotou-se o valor sugerido por Von Sperling (2005) para comunidades rurais.

Tabela 10: Principais parâmetros utilizados para os dimensionamentos

Parâmetro	Unidade	Valor
QPC – vazão *per capita*	L/(hab.d)	140*
R – coeficiente de retorno esgoto/água		0,8*
K_1 – coeficiente do dia de maior consumo		1,2*
K_2 – coeficiente da hora de maior consumo		1,5*
K_3 – coeficiente da hora de menor consumo		0,5*
Índice de atendimento	%	100

* valores adotados segundo Von Sperling (2005)

Devido à taxa negativa de crescimento populacional do município (-0,1% segundo dados do Censo 2010 – IBGE), serão mantidos os mesmos valores de população para início e fim de projeto. Todos os cálculos foram realizados segundo as definições de Jordão e Pessôa (2011).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Sistema de Abastecimento de Água

5.1.1 Avaliação do sistema de abastecimento de água

De acordo com as definições da Portaria nº 2914/2011, a forma de abastecimento das comunidades rurais do município de Belmiro Braga não pode ser classificada como solução alternativa coletiva de abastecimento de água para consumo humano, já que os distritos possuem rede de distribuição de água. Sendo assim, a distribuição de água à população das comunidades rurais ocorre de forma irregular, já que esta não passa por nenhum processo de desinfecção ou cloração, que é o tratamento mínimo exigido pela Portaria 2914/2011 para o sistema de abastecimento de água.

A Portaria 2914/2011 também estabelece que, para que se realize a desinfecção da água através da cloração e se obtenha o tempo de contato mínimo entre a água e o composto químico, devem ser levados em conta a concentração de cloro residual livre a ser mantida, o pH e a temperatura da água. Desta forma, recomenda-se a realização de um estudo para averiguar as condições ideais para a desinfecção com cloro, caso este seja o desinfetante a ser escolhido para a etapa de desinfecção.

A legislação também estabelece determinada concentração de fluoreto na água, a fim de se evitar problemas dentários, fazendo-se necessária uma análise das águas que contemple este parâmetro, já que águas de mananciais subterrâneos são propícias a terem flúor em sua composição. Caso a concentração encontrada não esteja dentro da faixa determinada pela Portaria 2914/2011, será necessária a realização do processo de fluoretação, através da adição de compostos de flúor à água.

A Portaria 2914/2011, com relação aos mananciais de abastecimento, sob a perspectiva dos riscos à saúde, recomenda manter uma avaliação sistemática da ocupação da bacia contribuinte ao manancial do sistema ou solução alternativa coletiva de abastecimento de água.

De forma a analisar as condições dos mananciais, verificou-se que são utilizados cinco poços subterrâneos e duas nascentes. Apesar da maioria dos poços serem isolados através de cercas, estes apresentaram no entorno vegetação em excesso e quantidade significativa de lixo. Em

nenhum dos cinco poços foi encontrada torneira que possibilitasse a coleta de água antecedendo a rede. Já as duas nascentes estão localizadas dentro de matas, em locais de acesso limitado onde ocorre a canalização da água. Segundo informações da população, estas nascentes são bem preservadas pelos proprietários rurais. Recomenda-se, portanto, uma caracterização mais detalhada destes mananciais, assim como uma análise química e microbiológica de acordo com as resoluções CONAMA 396/2008 e CONAMA 357/2005 para detectar possíveis contaminações químicas e microbiológicas destes mananciais conforme disposto na Portaria 2914/2011.

5.1.2 Qualidade das águas de abastecimento das comunidades

Devido às limitações para uma análise completa dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos das águas de abastecimento, analisaram-se apenas os parâmetros que estavam dentro das possibilidades do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Na Tabela 11, são mostrados os resultados obtidos nas análises dos parâmetros pH, salinidade, sólidos dissolvidos totais, turbidez e cor nas duas amostragens realizadas no trabalho e seus respectivos desvios padrões.

Tabela 11: Resultados encontrados na primeira e segunda amostragem

	Amostras													
	1		**2***		**3**		**4**		**5***		**6**		**7**	
Amostragem	**1ª**	**2ª**	**1ª**	**2ª**	**1ª**	**2ª**	**1ª**	**2ª**	**1ª**	**2ª**	**1ª**	**2ª**	**1ª**	**2ª**
pH	6,03	5,12	6,30	4,81	6,97	6,09	6,53	5,44	5,97	4,99	5,13	4,15	5,13	5,49
σ	0,15	0,06	0,00	0,03	0,06	0,01	0,15	0,05	0,15	0,12	0,25	0,15	0,25	0,08
CE (µS/cm)	78,33	31,00	30,67	9,67	219,00	192,33	215,00	195,33	62,67	36,67	11,00	2,00	21,67	13,00
σ	6,66	3,00	2,31	0,58	2,65	3,51	1,00	2,52	0,58	2,52	2,00	1,00	1,53	2,00
Sal. (%)	0,04	0,01	0,01	0,00	0,12	0,10	0,11	0,10	0,03	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01
σ	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01
SDT (mg/L)	41,33	16,67	15,33	5,67	121,67	104,33	119,00	105,00	34,67	19,67	6,67	1,33	13,00	7,00
σ	4,51	1,53	2,52	0,58	0,58	1,53	1,73	1,00	0,58	1,53	0,58	0,58	1,73	1,00
Turb. (uT)	0,07	0,03	4,91	2,20	0,08	0,03	0,07	0,03	2,96	0,65	1,79	0,54	10,83	2,66
σ	0,01	0,01	0,48	0,20	0,01	0,00	0,00	0,01	0,33	0,19	0,24	0,35	0,23	0,25
Cor (uH)	39,72	36,61	38,09	36,63	23,88	36,14	22,19	26,55	38,38	41,25	48,40	40,91	117,73	50,64
σ	17,42	-	5,14	-	2,62	-	0,57	-	5,01	-	2,55	-	7,67	-

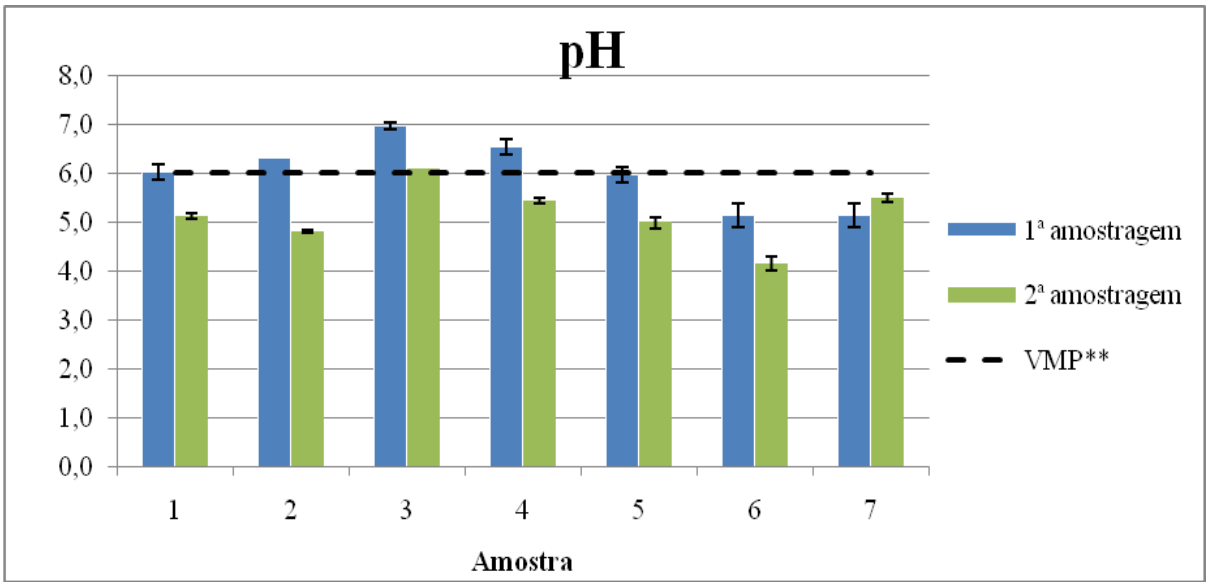
σ – desvio padrão
CE – condutividade elétrica
Sal. – salinidade
SDT – sólidos dissolvidos totais
Turb. – turbidez
*abastecimento por nascente

5.1.3 Avaliação dos resultados obtidos

Dos parâmetros avaliados no presente trabalho, apenas o pH, sólidos dissolvidos totais, turbidez e cor são contemplados na legislação que define o padrão de potabilidade. A seguir, serão mostrados os resultados da primeira e segunda amostragem de cada parâmetro e seus respectivos limites máximos e mínimos permitidos pela Portaria 2914/2011, além da análise dos resultados.

pH

De acordo com a Figura 11, na primeira amostragem realizada durante o estudo, o pH das amostras 2, 3 e 4 se apresentaram dentro da faixa de 6 a 9, determinada pela Portaria 2914/2011. As amostras 1 e 5 podem ou não estar dentro da faixa, devido ao desvio padrão. Já as amostras 6 e 7 demonstraram caráter mais ácido às suas águas, já que mantiveram o pH por volta de 5, sendo este valor abaixo do permitido pela legislação.



**VMP - valor mínimo permitido pela Portaria 2914/2011.

Figura 11: Valores encontrados na primeira e segunda amostragem para pH

No caso da segunda amostragem, com exceção da amostra 3, todas as demais amostras mantiveram o pH inferior a 6, indicando que estas águas possuem uma tendência mais ácida. A amostra 3 foi a única que chegou até a faixa determinada pela Portaria 2914/2011. Cabe destacar que, mesmo tendo valores abaixo do mínimo permitido pela legislação, as amostras com pH mais baixos irão acarretar numa diminuição do tempo de contato a ser submetido para a cloração. Assim, no caso de implantação do tratamento dessas águas, esse fator já trará certo benefício operacional ao sistema.

De acordo com Libânio (2008), valores de pH mais baixos, como verificado nas amostras, interferem numa série de processos de tratamento de água, podendo causar a corrosão das redes de distribuição de água (LIBÂNIO, 2008). Nesse caso, recomenda-se o ajuste de pH para as todas as águas após a etapa de desinfecção. Além disso, vale ressaltar que o pH fora da neutralidade interfere na solubilidade de substâncias, podendo definir o potencial de toxicidade de determinados compostos (LIBÂNIO, 2008).

De acordo com Silva *et al.* (2014) pH é um parâmetro sazonal em relação à precipitação, ou seja, no período seco os valores apresentam-se menores. Sendo assim, as amostras que apresentaram valores mais baixos de pH, principalmente na segunda amostragem, podem estar sendo influenciadas pela diminuição das chuvas na região.

Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica não é um parâmetro presente na Portaria 2914/2011, porém este pode ser um parâmetro indicativo de presença de efluentes domésticos ou industriais em determinado corpo hídrico, caso sejam encontrados valores em torno de 1000 μS/cm, além de estar diretamente ligado às concentrações de sólidos dissolvidos na água. Já nas águas naturais são normalmente encontradas condutividades elétricas inferiores a 100 μS/cm (LIBÂNIO, 2008).

Segundo Libânio (2008), por ser um parâmetro que indica a capacidade da água em transmitir corrente elétrica em função dos íons dissolvidos, a condutividade está também relacionada ao teor de salinidade presente na água, sendo esta relação de suma importância para mananciais subterrâneos, como é o caso do presente estudo.

Na primeira coleta realizada, como mostra a Figura 12, apenas as amostras 3 e 4 apresentaram condutividade elétrica acima de 200 μS/cm, enquanto que as demais amostras se mantiveram na faixa normalmente encontrada, abaixo de 100 μS/cm. Como a condutividade elétrica está ligada à presença de sais na água, fica evidente que as fontes subterrâneas das amostras 3 e 4 são mais ricas em sais do que as demais fontes. Águas subterrâneas que ficam armazenadas em fraturas do cristalino podem apresentar condutividade elétrica mais alta, mostrando a interferência da geologia na qualidade da água subterrânea (ANDRADE JÚNIOR *et al*., 2006). Portanto, essa pode ser uma possível justificativa para estes valores maiores que os demais.

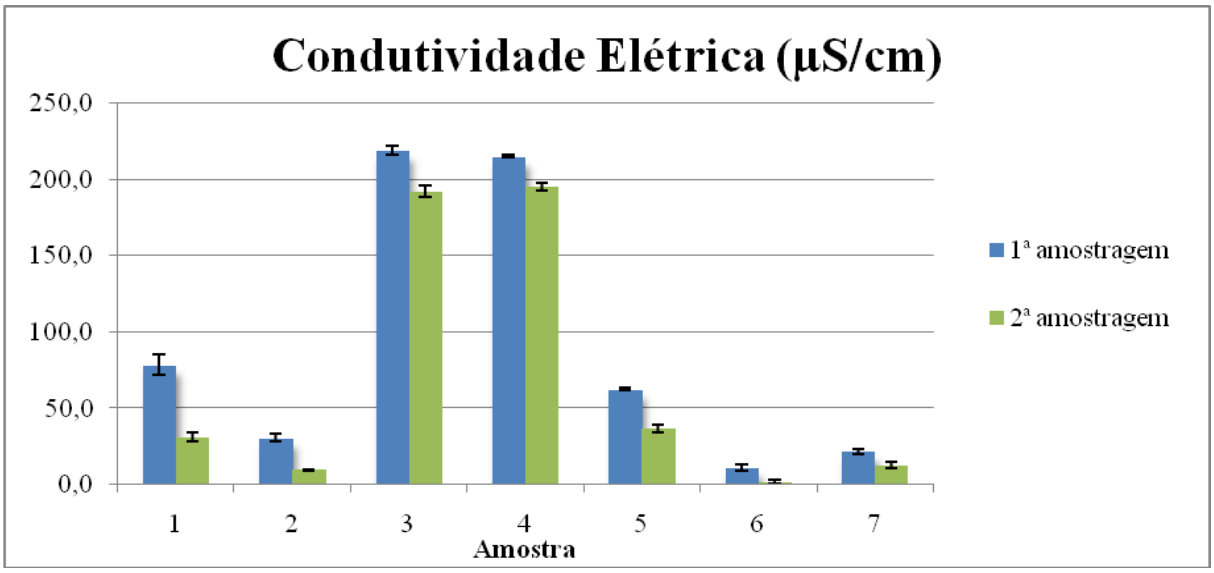


Figura 12: Valores encontrados na primeira e segunda amostragem para CE

Já para a segunda amostragem, os valores encontrados foram levemente inferiores aos obtidos na primeira amostragem, porém mantiveram a mesma tendência da amostragem anterior, demonstrando que nenhuma anormalidade ocorreu.

Salinidade

A salinidade também não é contemplada na legislação que define o padrão de potabilidade, porém este parâmetro é importante para determinar o teor de sal em determinado manancial. A resolução CONAMA nº 396/2008, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas, não realiza a classificação de água em doce, salobra ou salina, nem tampouco contempla o parâmetro salinidade. Sendo assim, utilizou-se a CONAMA nº 357/2005 para esta classificação, que define como águas doces aquelas que possuem salinidade inferior a 0,5 ‰, as salobras entre 0,5 e 30 ‰ e as salinas acima de 30 ‰.

Na Figura 13 são destacados os valores encontrados nas duas amostragens relativos à salinidade. Pode-se perceber que os valores encontrados na primeira coleta para as amostras 1, 2, 5, 6 e 7 foram inferiores a 0,5 ‰, demonstrando que estas águas são classificadas como doces. Já as amostras 3 e 4 apresentaram valores entre 0,5 e 30 ‰, demonstrando que estas duas fontes podem ser classificadas como salobras. Na segunda amostragem também se verificou a mesma tendência da primeira amostragem, porém com valores ligeiramente menores. Os resultados encontrados mostram novamente a interligação entre a condutividade elétrica e a salinidade das águas.

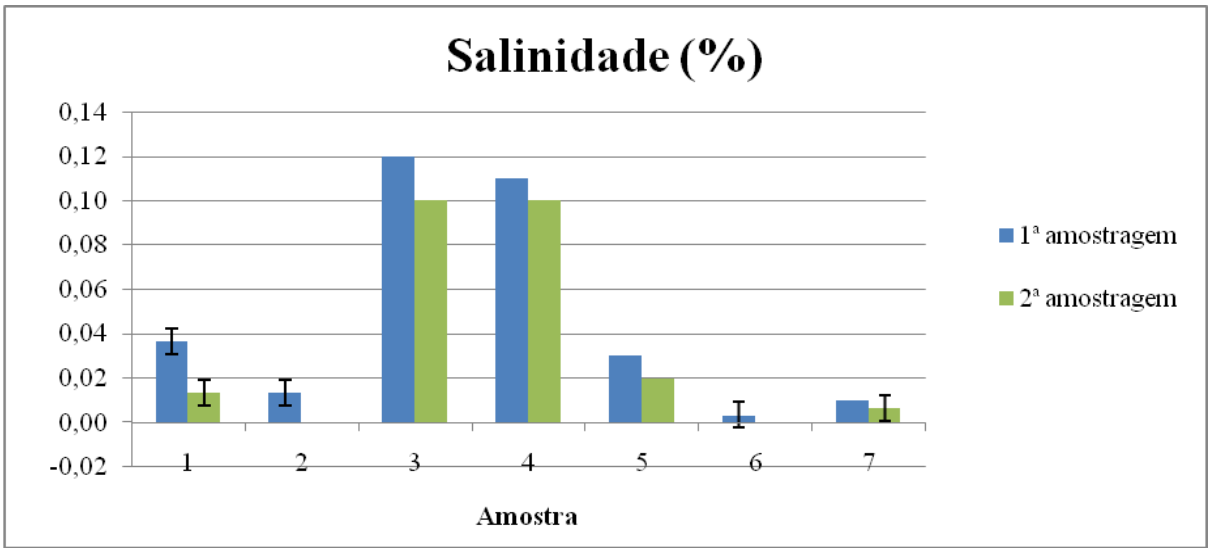


Figura 13: Valores encontrados na primeira e segunda amostragem para salinidade

Normalmente, nas regiões mais confinadas dos aqüíferos, a salinidade é mais baixa, podendo esta ser uma das razões para que as amostras 1, 2, 5, 6 e 7 apresentem menos sais dissolvidos (ANDRADE JÚNIOR *et al*., 2006). Já salinidades maiores são verificadas em aquíferos mais profundos, como pode ser o caso dos poços das amostras 3 e 4 (ROCHA, 1997).

Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)

A especificação da Portaria 2914/2011 para a concentração de SDT é de no máximo 1000 mg/L. De acordo com a Figura 14, todos os resultados das duas análises de amostras estavam dentro do permitido pela legislação, sendo que as amostras 1, 2, 5, 6 e 7 possuíam concentrações inferiores a 50 mg/L. As amostras 3 e 4 mais uma vez apresentaram discrepância às demais amostras, chegando a concentrações acima de 100 mg/L. Como esperado, as amostras que continham as maiores concentrações de sólidos dissolvidos totais também possuíam maior salinidade e condutividade elétrica, evidenciando a relação entre estes parâmetros.

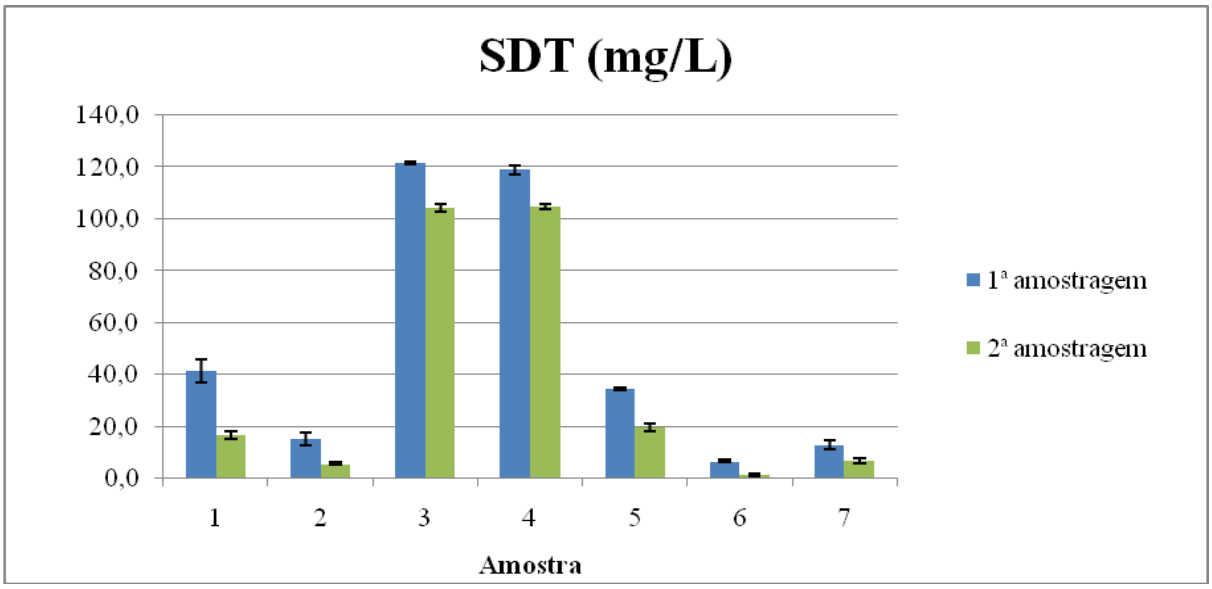


Figura 14: Valores encontrados na primeira e segunda amostragem para SDT

Turbidez

A turbidez é representada pela concentração de partículas suspensas, além de mostrar o grau de interferência com a presença de luz na água. A turbidez é de grande importância para a escolha de tecnologia de tratamento e controle das estações de tratamento de água. Levando em consideração a fonte subterrânea de água, o ideal é que a turbidez antes da desinfecção seja inferior a 1 uT, sendo aceitáveis valores até 5 uT em 5% das amostras. Valores mais altos destes parâmetros podem acarretar na proteção de organismos patogênicos, prejudicando a desinfecção (HELLER & PÁDUA, 2006). Já em relação à rede de distribuição de água, o valor máximo permitido para turbidez é de 5 uT em 95% das amostras. Na Figura 15, são destacados os valores referentes à turbidez, encontrados nas duas amostragens.

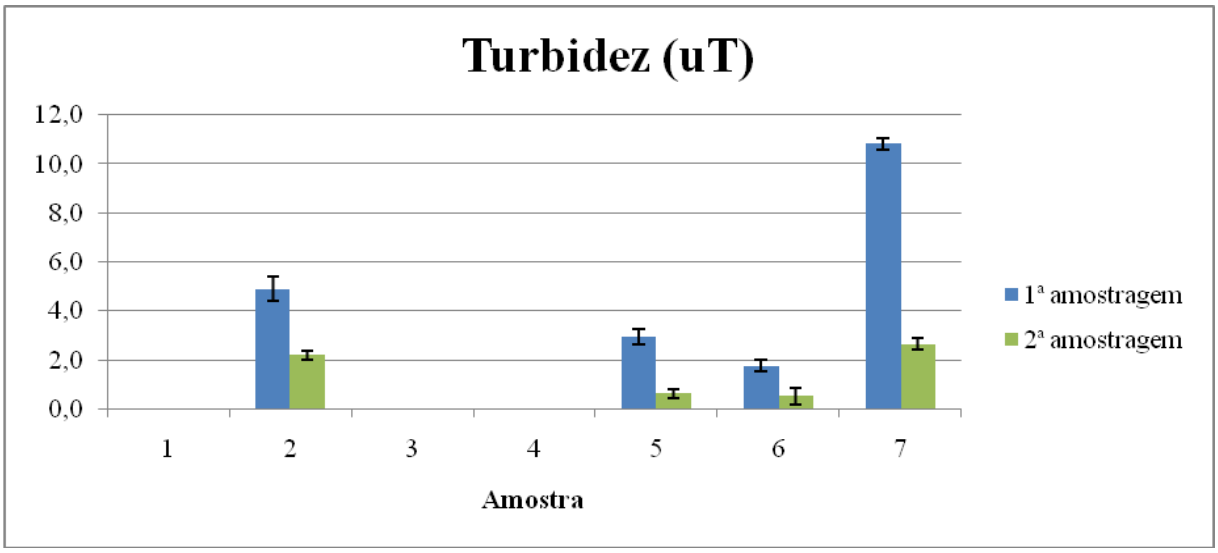


Figura 15: Valores encontrados na primeira e segunda amostragem para turbidez

Contrariamente aos parâmetros condutividade, salinidade e SDT, a turbidez nas amostras 3 e 4 da primeira amostragem apresentaram valores abaixo de 0,05 uT, assim como a amostra 1. As amostras 2, 5 e 6 chegaram a valores de 4,91, 2,96 e 1,79 uT na primeira amostragem, estando acima do limite permitido pela portaria 2914/2011. A amostra 7 superou não só a especificação para pré-desinfecção, mas também a especificação de 5 uT para a rede de distribuição e extrapolando o valor limite de 5 uT para os 5% permitidos pré-desinfecção, chegando a 10,38 uT. A diferença entre os resultados da primeira e segunda amostragem pode ser justificada por uma chuva no dia anterior da primeira coleta, sendo assim pode ter ocorrido carreamento de sólidos para a rede de abastecimento (BARCELLOS *et al.*, 2006). Para que a ocorrência de chuva influenciasse nos resultados encontrados para os poços, estes deveriam ter maior contato com a superfície, ou seja, poderiam ser poços freáticos ao invés de artesianos. Sendo assim, a amostra que apresentou maior discrepância entre a primeira e a segunda amostragem foi a amostra 7, podendo esta ter sido coletada em um poço freático. Para a confirmação deste fato, é necessária a realização de uma análise completa de parâmetros que indiquem a tipologia real dos poços de abastecimento.

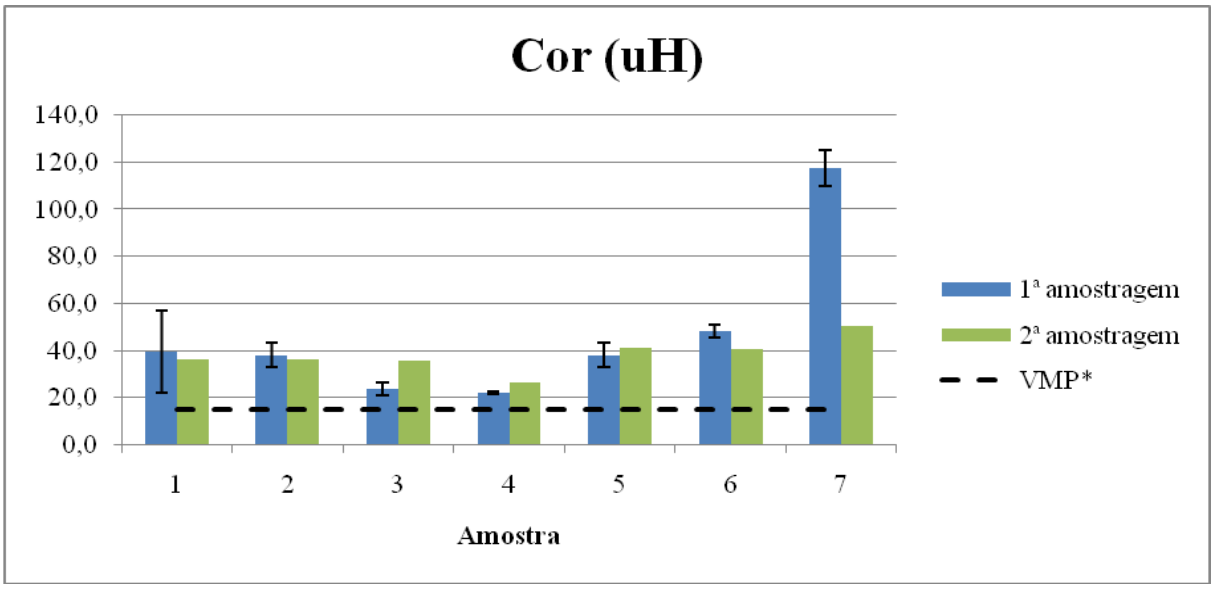
Analisando os resultados separadamente, pode-se perceber que as amostras 1, 3 e 4 se apresentam abaixo do limite estabelecido para a pré-desinfecção, de 1 uT, em 100% das amostras. No caso das amostras 5 e 6, estas tiveram turbidez inferior a 1 uT em 50% das amostras, evidenciando a necessidade de um número maior de amostragens para garantia de que estas estão dentro do limite de 95% dos casos. Para as amostras 2 e 7, estas estavam acima do limite aceitável em 100% dos casos. Assim sendo, evidencia-se a importância de um

planejamento amostral mais detalhado para melhor caracterizar estas águas e desta forma recomendar uma solução para a adequação da qualidade da água distribuída ao município de Belmiro Braga.

Cor

Neste trabalho, como mostra a Figura 16, a cor foi o parâmetro em maior desconformidade com a legislação nas duas amostragens. Todas as amostras apresentaram valores acima de 15 uH, que é o valor máximo permitido pela legislação. Cabe destacar que a amostra 7 chegou a 117,73 uH na primeira amostragem, sendo este um valor muito acima do permitido. No caso específico de águas subterrâneas, todas estas águas podem conter altas concentrações de ferro e manganês, ou até mesmo de substâncias húmicas, fazendo com que a cor seja alta em todas as sete fontes analisadas (LIBÂNIO, 2008). De acordo com Libânio (2008) a importância da avaliação da cor nas águas naturais está ligada à formação de compostos cancerígenos, os *trihalometanos*, já que quando águas com cor elevada são cloradas, estas podem vir a formar subprodutos perigosos à saúde.

No caso das amostras de 1 a 6, os valores referentes à cor variaram entre 22,19 e 48,40 uH nas duas amostragens. A amostra 7, assim como verificado na turbidez, apresentou valores divergentes nas duas amostragens, podendo também ter sofrido interferência da chuva ocorrida no dia anterior à primeira amostragem. Apesar da cor aparente da água ser somente a contemplada na Portaria 2914/2011 na água potável, percebe-se o risco em submeter uma das sete amostras a desinfecção, possibilitando a formação de compostos cancerígenos. Destaca-se que a Portaria 2914/2011 limita a concentração de Trihalometanos Total em 0,1 mg/L. Sendo portanto a cor um fator limitante para estas fontes, devido ao seus altos valores e mesmo que estas apresentem valores de turbidez baixos, as mesmas devem passar por um tratamento visando a remoção da cor.



*VMP-valor máximo permitido pela Portaria 2914/2011.

Figura 16: Valores encontrados na primeira e segunda amostragem para cor

5.1.4 Estudo das tecnologias de tratamento

A Portaria 2914/2011 estabelece que toda água oferecida coletivamente deve passar, no mínimo, por desinfecção. Porém, a utilização deste processo só será possível se a água apresentar determinadas características, como turbidez inferior a 1 uT, sendo que em 5% das amostras é permitida turbidez máxima de até 5 uT. Caso a água não esteja dentro dessas especificações, o processo de desinfecção deverá ser precedido de outros tratamentos. Libânio (2008) recomenda que sejam avaliadas a turbidez, cor, *E. coli* e algas, para a escolha de tratamento mais eficaz. Como no presente trabalho não ocorreu análise de *E. coli* e algas, apenas a turbidez e a cor de cada amostra será avaliada, de acordo com a Tabela 12.

Tabela 12: Características das águas naturais e tecnologia de tratamento recomendada

	Convencional	**Dupla Filtração**	**Filtração Direta**	**Filtração Lenta***	**Filtração Direta em Linha**
Turbidez (uT)	< 3000	< 50	< 20	< 10	< 5
Cor Aparente (uH)	< 1000	< 50	< 20	< 20	< 15

*Sem emprego de pré-filtros

Fonte: Adaptado de Kawamura (2000b) *apud* Libânio (2008)

Com relação à turbidez, as amostras apresentaram resultados abaixo de 5 uT, com exceção da amostra 7. Para a escolha do tratamento mais eficaz o ideal seria realizar uma análise de todos os parâmetros pertinentes, além de um número maior de amostragens. Porém, como este não é

o caso, indica-se preliminarmente para o manancial da amostra 7 o processo de filtração lenta, que é composto pela filtração lenta associada à desinfecção, correção de pH e fluoretação. Já para as demais fontes, indica-se o processo de filtração direta em linha, que é composto pela coagulação, filtração ascendente ou descendente, desinfecção, correção de pH e fluoretação.

Já com relação à cor aparente, recomenda-se o uso da dupla filtração para as fontes das amostras 1, 2, 3, 4, 5 e 6, e para a amostra 7, indica-se o processo convencional de tratamento, composto por coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, correção de pH e fluoretação. A dupla filtração é semelhante ao tratamento convencional, porém não conta com a unidade de decantação e possui duas unidades de filtros rápidos.

Para a garantia da melhor eficiência de tratamento das águas de abastecimento das comunidades e levando em conta os tratamentos sugeridos, recomenda-se então adotar a dupla filtração para os mananciais das amostras 1, 2, 3, 4, 5 e 6, e para a fonte da amostra 7 recomenda-se o uso do tratamento convencional, a fim de atingir remoções maiores destes dois parâmetros. Vale destacar que, no caso da amostra 7, os dois valores encontrados para turbidez e cor nas amostragens foram muito diferentes, sendo estes determinantes no tipo de tratamento. Sendo assim, para a implantação desses sistemas, destaca-se mais uma vez a necessidade de uma análise físico-química e microbiológica completa destas águas, levando em consideração as estações do ano, pontos de coleta, entre outros fatores que intervém nos resultados encontrados. Adicionalmente, recomenda-se uma análise mais profunda da causa de cor desses mananciais, fato este que poderia alterar a recomendação com relação aos tratamentos sugeridos.

Na Tabela 13 apresentam-se as principais as características das tecnologias de dupla filtração (dividida em filtração direta ascendente e descendente) e o tratamento convencional (HELLER & PÁDUA, 2006).

Tabela 13: Características das técnicas de dupla filtração e tratamento convencional

Parâmetro	Técnica de Tratamento		
	Tratamento convencional	**Filtração direta descendente**	**Filtração direta ascendente**
Operação	Especializada	Especializada	Especializada
Consumo de coagulante	Alto	Baixo	Baixo
Resistência à variação da qualidade da água	Alta	Baixa	Moderada
Limpeza dos filtros	Fluxo ascendente	Fluxo ascendente	Fluxo ascendente
Porte da estação	Sem limitações	Sem limitações	Sem limitações
Custo de implantação (US$/hab)	10 a 60	2 a 30	5 a 45
Demanda de área	Média	Pequena	Pequena

Fonte: Adaptado de Barros *et al.* (1995) *apud* Heller & Pádua (2006)

Para a implantação dos sistemas, é possível perceber que, de acordo com a Tabela 13, será necessário um investimento na operação dos sistemas. Com relação ao uso de coagulante, a filtração dupla consome menos que no sistema convencional, e é menos resistente a possíveis variações da qualidade da água. As demandas de área variam de pequena a média e os custos de implantação são variáveis, sendo que estes dados podem estar desatualizados, já que são referentes ao ano de 2006.

5.2 Sistema de Esgotamento Sanitário

5.2.1 Dimensionamento dos sistemas simplificados

No presente trabalho realizaram-se apenas estudos relacionados ao tratamento dos efluentes domésticos produzidos em cada distrito, já que todas as comunidades possuem algum tipo de coleta de esgoto, mesmo que deficiente.

Como citado anteriormente, para os distritos de Porto das Flores e Sobragy, será utilizado o fluxograma composto por tratamento preliminar, reator UASB e lagoa de polimento. Já para os demais distritos, o tanque séptico associado ao filtro anaeróbio será o tratamento usado.

Para o dimensionamento dos dois sistemas, inicialmente realizou-se o cálculo das vazões mínima, média e máxima para cada distrito. O ideal seria calcular as vazões de início e de fim

de plano (20 anos), porém devido à taxa de crescimento negativa do município, considerou-se apenas a população de início de plano. Pode-se perceber também que as vazões encontradas representam números muito baixos, interferindo no cálculo de algumas unidades, como será visto mais adiante. As vazões encontradas são mostradas a seguir na Tabela 14.

Tabela 14: Vazões para cada distrito

Distritos	**População (hab)**	**Vazão mínimia**		**Vazão média**		**Vazão máxima**	
		(L/s)	**(m^3/s)**	**(L/s)**	**(m^3/s)**	**(L/s)**	**(m^3/s)**
Fortaleza	160	0,104	0,0001	0,207	0,0002	0,373	0,0004
Porto das Flores	295	0,191	0,0002	0,382	0,0004	0,688	0,0007
S. J. das Três Ilhas	206	0,134	0,0001	0,267	0,0003	0,481	0,0005
Sobragy	279	0,181	0,0002	0,362	0,0004	0,651	0,0007
V. Klabin	189	0,123	0,0001	0,245	0,0002	0,441	0,0004
V. S. Francisco	214	0,139	0,0001	0,277	0,0003	0,499	0,0005

Abaixo serão mostrados nas Tabelas 15, 16 e 17 os principais resultados obtidos no dimensionamento do tratamento preliminar, reator UASB, lagoa de polimento, tanque séptico e filtro anaeróbio para cada uma das comunidades rurais do município. As demais fórmulas e considerações utilizadas estão descritas no fim deste trabalho, no Anexo.

Como mostrado na Tabela 15, para o tratamento preliminar utilizou-se apenas a grade fina, o desarenador por gravidade e a Calha Parshall, devido às baixas vazões encontradas, tornando inviável o dimensionamento das grades grossas e médias. Para as duas comunidades, adotou-se a grade com dimensões de 6,4 mm x 38,1 mm, com espaçamento de 10 mm, chegando ao número de barras igual a 5. Para o desarenador, obteve-se as dimensões da altura x comprimento x largura do canal iguais a 0,025 m x 0,56 m x 0,046 m para o sistema de Porto das Flores e 0,024 m x 0,54 m x 0,045 m para o sistema de Sobragy. Já para Calha Parshall, utilizou-se a garganta de 1” (W=0,0254 m).

Na Tabela 16, são apresentadas as principais dimensões do reator UASB e da lagoa de polimento para os dois distritos. Para pequenas vazões é possível comprar o reator UASB pré-fabricado e este é encontrado no formato cilíndrico, sendo necessário conhecer apenas a altura e o diâmetro deste. Adotou-se a altura de 3 m para os dois sistemas, sendo que o diâmetro encontrado foi de 2,16 m para o distrito de Porto das Flores e 2,10 m para Sobragy. Já para as lagoas de polimento, foram dimensionadas duas lagoas em série para cada distrito, sendo estas com profundidade de 0,8 m e dimensões de 13 m x 16 m no distrito de Porto das Flores e 13 m x 15 m em Sobragy.

Já na Tabela 17, destaca-se o dimensionamento do tanque séptico e filtro anaeróbio para os distritos de Fortaleza, São José das Três Ilhas, Vila Klabin e Vila São Francisco. Para o tanque séptico chegaram-se as alturas úteis de, respectivamente, 2,09, 2,68, 2,46 e 2,78 m para cada distrito, largura de 2,5 m e comprimento de 8 m. Já para o filtro anaeróbio, a profundidade útil adotada foi de 1,8 m e chegaram-se às larguras de 3,16, 3,58, 3,43 e 3,65 m respectivamente para Fortaleza, São José das Três Ilhas, Vila Klabin e Vila São Francisco. Este sistema também pode ser encontrado pré-fabricado no mercado, conhecendo-se as dimensões de cada unidade.

Analisando as dimensões dos sistemas sugeridos, é possível perceber que os números para cada distrito são muito próximos, podendo assim ocorrer uma padronização das dimensões para os dois fluxogramas.

Tabela 15: Principais resultados do dimensionamento do tratamento preliminar

GRADE FINA

Distritos	Vazão máxima (L/s)	Vazão máxima (m^3/s)	Espaçamento entre barras (mm)	Velocidade de passagem entre barras (m/s)	Altura da lâmina d'água (m)	Dimensões (mm)	Eficiência da Grade	Área útil (m^2)	Área da seção do canal junto à grade (m^2)	Largura do canal (m)	Nº de barras	Nº de espaçamentos
Porto das Flores	0,688	0,0007	10	0,6	0,02	6,4 x 38,1	0,610	0,001	0,002	0,094	5	6
Sobragy	0,651	0,0007	10	0,6	0,02	6,4 x 38,1	0,610	0,001	0,002	0,089	5	6

DESARENADOR

Distritos	Garganta (m)	Vazão mínima (m^3/s)	Vazão média (m^3/s)	Vazão máxima (m^3/s)	H* mínimo (m)	H* média (m)	H* máxima (m)	Z** (m)	Altura do desarenador (m)	Comprimento do canal (m)	Largura do canal (m)	Velocidade máxima (m/s)	Velocidade mínima (m/s)	Velocidade adotada (m/s)
Porto das Flores	0,0254 (1")	0,0002	0,0004	0,0007	0,023	0,036	0,053	0,011	0,025	0,565	0,046	0,355	0,355	0,300
Sobragy	0,0254 (1")	0,0002	0,0004	0,0007	0,022	0,035	0,051	0,011	0,024	0,545	0,045	0,355	0,355	0,300

*Lâmina d'água no ponto de medição da Calha Parshall para as vazões mínimas, médias e máximas
**Rebaixo entre o desarenador e a Calha Parshall

CALHA PARSHALL

Distritos	h3* (m)	Cota do fundo do canal (m)	h2** (m)	Perda de carga (m)	Coeficiente K	M*** (m)	NA3**** (m)
Porto das Flores	0,053	0,000	0,037	0,016	0,020	0,004	0,069
Sobragy	0,051	0,000	0,036	0,015	0,020	0,005	0,067

*Altura da lâmina d'água após a Calha Parshall
**Altura da lâmina d'água na garganta
***Rebaixo na Calha Parshall
****Cota do nível d'água na seção de medição

Tabela 16: Resultados do dimensionamento dos reatores UASB e lagoas de polimento

REATOR UASB

Distritos	Vazão máxima (m^3/s)	Vazão média (m^3/s)	Vazão média (m^3/d)	Tempo de detenção hidráulica (h)	Volume (m^3)	Profundidade (m)	Área (m^2)	Diâmetro (m)	Demanda bioquímica de oxigênio (mg/L)	Carga orgânica volumétrica ($kg/m^3.d$)	Área de influência (m^2)	Nº de tubos	Velocidade descendente no tubo (m/s)	Velocidade ascensional (m/h)
Porto das Flores	0,0007	0,0004	33,00	8	11,00	3	3,67	2,16	400	1,2	1	4	0,024	0,656
Sobragy	0,0007	0,0004	31,28	8	10,43	3	3,48	2,10	400	1,2	1	3	0,024	0,674

LAGOAS DE POLIMENTO

Distritos	Vazão média (m^3/s)	Vazão média (m^3/d)	Tempo de detenção hidráulica (dias)	Profundidade (m)	Nº de lagoas	Tempo de detenção hidráulica por lagoa (dias)	Volume (m^3)	Área superficial (m^2)	Dimensões adotadas (m)	Área Superficial adotada (m^2)	Área total (m^2)
Porto das Flores	0,0004	33,005	10	0,8	2 lagoas em série	5	165	206	13 x 16	208	413
Sobragy	0,0004	31,277	10	0,8	2 lagoas em série	5	156	195	13 x 15	195	391

Tabela 17: Resultados do dimensionamento do tanque séptico e filtro anaeróbio

TANQUE SÉPTICO												
Distritos	**População (hab)**	**Vazão *per capita* (L/hab.d)**	**População x Vazão per capita (L/d)**	**Tempo de detenção hidráulica (horas)**	**Intervalo de limpeza (anos)**	**Taxa de acumulação de lodo digerido (dias)**	**Contribuição de lodo fresco (L/hab.d)**	**Volume (m^3)**	**Altura útil adotada (m)**	**Largura (m)**	**Comprimento (m)**	**Verificação da altura útil (m)**
Fortaleza	160	140	22400	12	4	185	1	41,80	2,5	2,5	8	2,09
São José das Três Ilhas	206	140	28840	12	4	185	1	53,53	2,5	2,5	8	2,68
Vila Klabin	189	140	26460	12	4	185	1	49,20	2,5	2,5	8	2,46
Vila São Francisco	214	140	29960	12	4	185	1	55,57	2,5	2,5	8	2,78

FILTRO ANAERÓBIO							
Distritos	**Volume (L)**	**Volume (m^3)**	**Altura do leito filtrante (m)**	**Profundidade útil (m)**	**Seção horizontal (m^2)**	**Largura (m)**	**Verificação da largura máxima (m)**
Fortaleza	17920	17,92	1,2	1,8	10,00	3,16	5,4
São José das Três Ilhas	23072	23,07	1,2	1,8	12,82	3,58	5,4
Vila Klabin	21168	21,17	1,2	1,8	11,76	3,43	5,4
Vila São Francisco	23968	23,97	1,2	1,8	13,32	3,65	5,4

5.2.2 Demandas de área, volume de lodo e custos

Para a implantação do sistema UASB seguido por lagoa de polimento e tanque séptico seguido de filtro anaeróbio em cada distrito, é necessário conhecer uma série de parâmetros que serão mostrados na Tabela 18 e 19 a seguir, onde se destacam faixas de variação da área requerida, volume de lodo, custos de implantação e custos de operação e manutenção, em função da população a ser atendida. Nas tabelas não são levados em conta as potências de aeração, pois nenhum dos sistemas simplificados empregados utiliza esta tecnologia.

Tabela 18: Demanda de área, volume de lodo e custos para UASB e lagoa de polimento

Distrito	População (hab)	Área requerida (m^2)	Lodo líquido a ser tratado (L/ano)	Lodo desidratado a ser disposto (L/ano)	Implantação (R$)	O&M* (R$/ano)
Porto das Flores	295	442,5-737,5	44250-73750	2950-10325	11800-20650	1327-2065
Sobragy	279	418,5-697,5	41850-69750	2790-9765	11160-19530	1256-1935

*Operação e Manutenção

Tabela 19: Demanda de área, volume de lodo e custos para tanque séptico+filtro anaeróbio

Distrito	População (hab)	Área requerida (m^2)	Lodo líquido a ser tratado (L/ano)	Lodo desidratado a ser disposto (L/ano)	Implantação (R$)	O&M* (R$/ano)
Fortaleza	160	32,0-56,0	28800-160000	4000-8000	12800-20800	960-1600
S. J. das Três Ilhas	206	41,2-72,1	37080-206000	5150-10300	16480-26780	1236-2060
Vila Klabin	189	37,8-66,2	34020-189000	4725-9450	15120-24570	1134-1890
Vila São Franciso	214	42,8-74,9	38520-214000	5350-10700	17120-27820	1284-2140

*Operação e Manutenção

Ao analisar os resultados obtidos nas duas tabelas, pode-se perceber que o sistema UASB associado à lagoa de polimento requer áreas bem maiores que o sistema de tanque séptico seguido por filtro anaeróbio. Apesar da diferença significativa entre as áreas requeridas, não haverá problema com relação à área disponível nos dois distritos, pois o município possui baixo adensamento populacional e muitas áreas desocupadas e improdutivas nas proximidades das comunidades.

Com relação ao volume de lodo líquido e desidratado, os dois sistemas possuem valores mais próximos. Apesar de não ser objetivo deste trabalho, uma possível solução para este lodo seria a implantação de um sistema de tratamento para posterior aproveitamento deste em áreas agrícolas e na pecuária, já que estas são as principais atividades econômicas do município.

O item que normalmente mais é levado em conta na implantação efetiva de um sistema de tratamento de esgoto é o custo envolvido no processo. Além do custo de implantação do sistema, também devem-se conhecer os custos de operação e manutenção deste sistema. No presente trabalho os valores máximos de implantação dos dois sistemas em cada distrito não passaram de R$28.000, gerando ao todo um investimento médio de R$95.500 para a implantação dos seis sistemas. Com relação aos custos de operação e manutenção, estes tiveram valor máximo de R$2.200 por ano, resultando num investimento total anual médio de R$8.200.

Analisando-se estes resultados, é possível perceber que a implantação dos sistemas simplificados nas comunidades rurais do município de Belmiro Braga é viável, se comparada aos sistemas convencionalmente utilizados em cidades de médio e grande porte.

Para o distrito de Porto das Flores, que apresenta a maior população dentre os demais estudados, um processo de lodo ativado custaria entre R$ 29.500 e R$ 47.200 reais para implantação e R$ 2.950 a R$ 5.900 por ano para operação e manutenção. Ainda, ressalta-se que neste caso, além da inviabilidade econômica, há que se levar em consideração a complexidade operacional desta tecnologia, inviabilizando também tecnicamente a sua implantação em comunidades rurais com dificuldade de acesso a profissionais qualificados e laboratórios credenciados para monitoramento.

Para este cálculo, foram utilizados índices de custo de implantação e operação sugeridos por Von Sperling (2005), a saber: a) custo de implantação – R$ 100,00 a R$ 160,00 por habitante; b) custo de operação e manutenção – R$ 10,00 a R$ 20,00 por habitante/ano.

6. CONCLUSÕES

- O município de Belmiro Braga não conta com nenhum tipo de tratamento de água e, com exceção do distrito de Três Ilhas, não existe tratamento de efluentes domésticos, para as comunidades rurais, que representam a maioria da população do município;
- O estado de conservação dos 5 poços de abastecimento de água é inadequado e não se sabe ao certo se são poços artesianos ou freáticos. Já as 2 nascentes que abastecem duas das sete comunidades estão preservadas e afastadas de possíveis interferências humanas;
- A Portaria 2914/2011 define que no sistema de abastecimento de água com rede de distribuição, deve haver minimamente a desinfecção, porém foi detectado que a distribuição nos distritos não passa por nenhum tipo de tratamento, evidenciando a necessidade de estudo de implantação de tecnologias de tratamento de água;
- A maioria das águas de abastecimento analisadas apresentaram pH inferiores a 6, indicando a necessidade de correção deste no caso de implantação de tratamento de água a fim de evitar corrosão nas redes de abastecimento;
- A condutividade elétrica, os sólidos dissolvidos totais e a salinidade estavam diretamente correlacionados em todas as amostras, chegando a valores elevados nas amostras 3 e 4, e indicando que estas águas poderiam ser classificadas como salobras;
- A turbidez encontrada estava acima do valor estabelecido na legislação para águas na pré-desinfecção, nas amostras dos distritos de Vila Klabin, Três Ilhas, Porto das Flores e São José das Três Ilhas;
- A variação dos valores de turbidez, principalmente na amostra 7, pode ter sido causada pela ocorrência de uma chuva na primeira amostragem, indicando assim a possibilidade de que este manancial é um poço freático;
- Todos os valores referentes à cor aparente estavam acima do limite permitido pela legislação, fazendo-se necessário o uso de tecnologias de tratamento, como a dupla filtração e o tratamento convencional;
- No município, os distritos lançam seus efluentes domésticos sem nenhum tipo de tratamento em córregos ou rios da região, com exceção do distrito de Três Ilhas, que possui um sistema antigo de fossa séptica;

- Sugeriram-se para os seis distritos que não possuem nenhum tratamento os sistemas simplificados compostos por reator UASB associado à lagoa de polimento para as comunidades com mais de 250 habitantes (Porto das Flores e Sobragy); e o sistema de tanque séptico associado ao filtro anaeróbio para os demais distritos;
- Pelo fato de os distritos apresentarem populações reduzidas (inferior a 300 habitantes), o dimensionamento hidráulico apresentou tanques com dimensões também reduzidas, sendo este um fator favorável. Porém, no caso do tratamento preliminar, para se manter o gradeamento com número de barras e largura razoáveis, foi necessária a fixação de uma lâmina d'água bastante inferior àquelas calculadas para vazões superiores.
- A demanda de área, o volume de lodo e os custos de operação e manutenção para os dois sistemas sugeridos são bem inferiores, quando comparados aos sistemas convencionais, como lodo ativado, por exemplo.

7. RECOMENDAÇÕES

- Para uma melhor avaliação do sistema de abastecimento de água, recomenda-se uma análise completa dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos a fim de caracterizar estas águas e se escolher uma tecnologia adequada de tratamento de água;
- No caso de implantação de tecnologia de tratamento de água, recomenda-se fazer a correção do pH e a fluoretação, caso estes parâmetros estejam fora do padrão estabelecido pela Portaria 2914/2011;
- Recomenda-se a realização de um estudo das condições ótimas para a desinfecção com cloro, caso este seja o desinfetante a ser escolhido para a etapa de desinfecção;
- Deve-se realizar uma avaliação sistemática da ocupação da bacia contribuinte ao manancial do sistema de abastecimento de água;
- Torna-se necessária uma caracterização mais detalhada dos mananciais, assim como uma análise química e microbiológica de acordo com as resoluções CONAMA nº 396/2008 e CONAMA nº 357/2005 para detecção de possíveis contaminações químicas e microbiológicas;
- Um planejamento amostral mais detalhado para melhor caracterizar estas águas torna-se necessário, a fim de se obter um número maior de amostragens;
- Indica-se a realização de um estudo mais detalhado sobre a cor, para que se determine a causa de valores tão elevados;
- Recomenda-se uma análise de todos os parâmetros especificados na deliberação normativa conjunta COPAM/CERH nº 01/2008 para a correta escolha do sistema simplificado que alcance as remoções esperadas, de acordo com o padrão de lançamento determinado pela legislação.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE JR, A. S. *et al*. Uso e qualidade da água subterrânea para irrigação no Semi-Árido piauiense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.4, p. 873-880, 2006.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9898**: Preservação e técnicas de amostragem de afluentes líquidos e corpos receptores – Procedimento. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12209**: Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários. Rio de Janeiro, 2011.

BARCELLOS, C. M. *et al*. Avaliação da qualidade da água e percepção higiênico-sanitária na área rural de Lavras, Minas Gerais, Brasil, 1999-2000. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 3, p. 1967-1978, set. 2006.

BARROS, R. T. V. *et al*. **Saneamento**. 1 ª ed. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1995. 221 p. (Manual de saneamento e proteção ambiental para municípios, 2).

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA 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.*

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 396 de 03 de abril de 2008. *Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.*

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 430 de 13 de maio de 2011. *Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA.*

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2914 de 12 de dezembro de 2011. *Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.*

CESAMA. Companhia de Saneamento Municipal. Disponível em: <http://www.cesama.com.br/?pagina=saneamento >. Acesso em: 05 jun. 2014.

CEIVAP. Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Disponível em: < http://www.ceivap.org.br/downloads/cadernos/PS1.pdf >. Acesso em: 09 jan. 2014.

COPASA. Companhia de Saneamento de Minas Gerais. Disponível em:<http://www.copasa.com.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=160>. Acesso em: 21 jan. 2014.

FUNASA. Fundação Nacional da Saúde. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/site/engenharia-de-saude-publica-2/saneamento-rural/>. Acesso em: 12 out. 2013.

HELLER, L; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. 1ª ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006. 859 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/painel/historico.php?lang=&codmun=310610> Acesso em: 15 out. 2013.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/painel/economia.php?lang=&codmun=310610&search=minas-gerais|belmiro-braga|infograficos:-despesas-e-receitas-orcamentarias-e-pib>. Acesso em: 16 out. 2013.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=310610&idtema=1&search=minas-gerais|belmiro-braga|censo-demografico-2010:-sinopse->. Acesso em: 16 out. 2013.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=310610&idtema=20&search=minas-gerais|belmiro-braga|pesquisa-nacional-de-saneamento-basico-2008>. Acesso em: 12 mai. 2014.

JORDÃO, E.P e PESSÔA, C.A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 6ª ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011. 969 p.

JORDÃO, E.P; VOLSCHAN JR., I. **Tratamento de esgotos em empreendimentos habitacionais**. Brasília: CAIXA, 2009. 130 p.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 2ª ed. Campinas: Editora Átomo, 2008. 444 p.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambiental. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01 de 2008. *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.*

PALMIER, L. R. Mananciais subterrâneos: aspectos quantitativos. In: HELLER, L; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2ª e.d. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010. 2 v., capítulo 6, 271-298.

ReCESA. Rede Nacional de Extensão e Capacitação Tecnológica em Saneamento Ambiental. **Esgotamento sanitário: Operação e manutenção de sistemas simplificados de tratamento de esgotos: Guia do Profissional em Treinamento – A – nível 2**. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Belo Horizonte, 2008. 112p.

ROCHA, G. A. O grande manancial do Cone Sul. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 11, n. 30, p.191-212, 1997.

SABESP. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=104>. Acesso em: 12 out. 2013.

SILVA, D. D. *et al*. Falta de saneamento básico e as águas subterrâneas em aquífero freático: região do Bairro Pedra Noventa, Cuiabá (MT). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 1, p. 43-52, jan/mar. 2014.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto - 2011**. Ministério das Cidades. Brasília, 2013. 363p.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. 452 p. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, n. I).

9. ANEXO

9.1 Memorial de cálculos

9.1.1 Cálculo das Vazões

Vazão Mínima (L/s):

$$Qmín = \frac{Pop * QPC * R * K3}{86400}$$

Vazão Média (L/s):

$$Qméd = \frac{Pop * QPC * R}{86400}$$

Vazão Máxima (L/s):

$$Qmáx = \frac{Pop * QPC * R * K1 * K2}{86400}$$

9.1.2 Tratamento Preliminar

Grade fina:

Adotou-se espaçamento (e) de 10 mm entre as barras, a velocidade (v) de 0,6 m/s, a altura da lâmina d'água (h) de 0,02 m e dimensões da grade de 6,4 x 38,1 mm;

Eficiência:

$$E = \frac{e}{e + 6{,}4}$$

Área útil (m²):

$$A = Qmáx(m^3/s) * v$$

S (m²):

$$S = \frac{A}{E}$$

Largura (m):

$$L = \frac{S}{h}$$

Nº de barras:

$$nb = \frac{L - (e * 0{,}001)}{(e * 0{,}001) + (6{,}4 * 0{,}001)}$$

Nº de espaçamentos:

$$ne = nb + 1$$

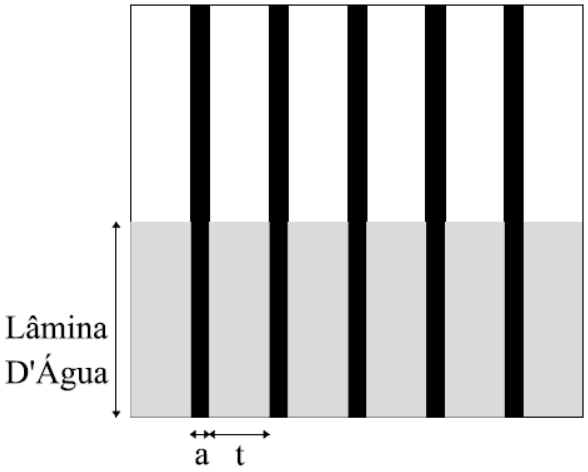


Figura 17: Grade fina

Desarenador (para 2 unidades):

Para o desarenador, adotou-se a garganta de 1", com W=0,025 m, e velocidade (vel) de 0,3 m/s;

$H_{mín,\ méd\ ou\ máx}$ (m):

$$H\ mín, méd\ ou\ máx\ = \frac{Q\ mín, méd\ ou\ máx}{2{,}2 * W}^{2/3}$$

Rebaixo (m):

$$Z = \frac{(Qmáx/2) * Hmín - (Qmín/2) * Hmáx}{(Qmáx/2) - (Qmín/2)}$$

Altura do desarenador (m):

$$H = Hméd - Z$$

Comprimento do desarenador (m):

$$L = 22{,}5 * H$$

Largura de desarenador (m):

$$b = \frac{Qmáx/2}{vel * H}$$

Verificação da Velocidade:

$$vmáx = \frac{Qmáx}{b * (Hmáx - Z)}$$

$$vmín = \frac{Qmín}{b * (Hmín - Z)}$$

Calha Parshall:

Utilizou-se a cota de fundo igual a zero; K=0,02 m

H_3 (m):

$$H3 = Hmáx$$

H_2 (m):

$$H2 = 70\% * H3$$

Perda de carga (m):

$$P = H3 - H2$$

M (m):

$$M = P - K$$

Nível d'água 3 (m):

$$NA3 = H3 + P$$

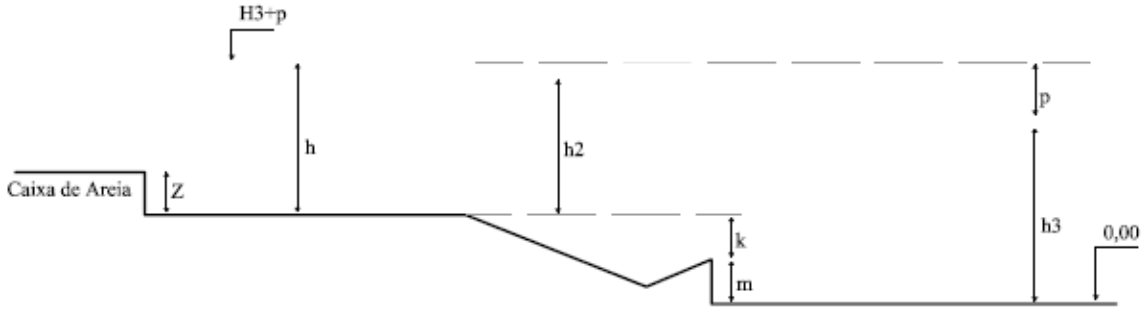


Figura 18: Desarenador e Calha Parshall

9.1.3 Reator UASB

Adotou-se tempo de detenção hidráulica (TDH) igual a 8 h, profundidade do reator (p) igual a 3 m, demanda bioquímica de oxigênio (DBO) de 400 mg/L, área de influência por tubo igual a 1 m², diâmetro do tubo (diam) de 0,075 m;

Volume (m³):

$$V = \frac{TDH * Qméd\ (m^3/d)}{24}$$

Área (m²):

$$A = \frac{V}{p}$$

Diâmetro (m):

$$D = \sqrt{4 * A/pi}$$

Carga Orgânica Volumétrica (kg/m³.dia):

$$COV = \frac{DBO * Qméd\ (m^3/d) * 0{,}001}{V}$$

Nº de tubos:

$$Nt = \frac{A}{área\ de\ influência}$$

Velocidade descendente no tubo (m/s):

$$vd = \frac{Qméd\ (m^3/d)}{nt * pi/4 * diam2 * 86400}$$

Velocidade ascensional (m/s):

$$va = \frac{Qmáx\ (m^3/s) * 3600}{A}$$

9.1.4 Lagoa de Polimento

Adotou-se tempo de detenção hidráulica de 10 dias para duas lagoas em série (5 dias por lagoa), profundidade da lagoa (p) de 0,8 m. Adota-se também a largura e o comprimento para cada lagoa projetada, chegando o mais próximo possível da área superficial calculada (A).

Volume da lagoa (m³):

$$V = Qméd\ (m^3/d) * 5$$

Área superficial (m²):

$$A = \frac{V}{p}$$

Área total (m²):

$$At = 2 * A$$

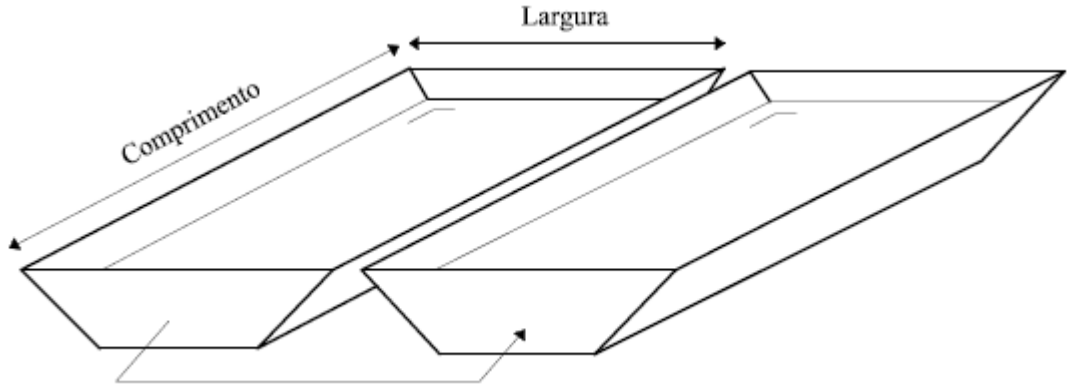


Figura 19: Lagoas de polimento em série

9.1.5 Tanque Séptico e Filtro Anaeróbio

Tanque séptico:

Adotaram-se o tempo (T) de 0,5 dias, intervalo de limpeza de 4 em 4 anos, igual a 185, Lf igual 1 L/(hab.d), Hu igual a 2,5 m, B igual a 2,5 m e L igual a 8;

População x QPC:

$$CxN = QPC * Pop$$

Volume (L):

$$V = 1000 + Pop * (QPC * T + K * Lf)$$

Verificação do Hu:

$$Hu = \frac{V(m^3)}{(L * B)}$$

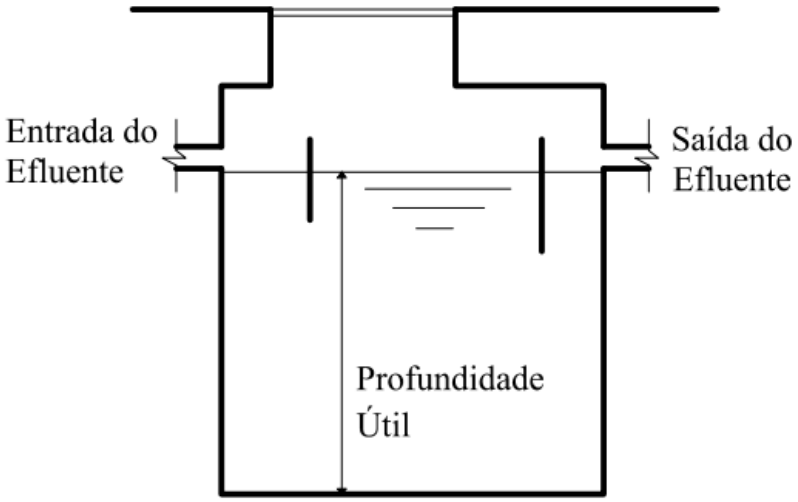


Figura 20: Tanque séptico

Filtro anaeróbio:

Adotaram-se a altura do leito filtrante igual a 1,2 m e a profundidade útil (p) de 1,8 m;

Volume (L):

$$V = 1{,}6 * Pop * QPC * T$$

Seção horizontal (m²):

$$\frac{V(m^3)}{p}$$

Largura (m):

$$L = \sqrt{seção\ transversal}$$

Largura máxima (m):

$$3 * L$$

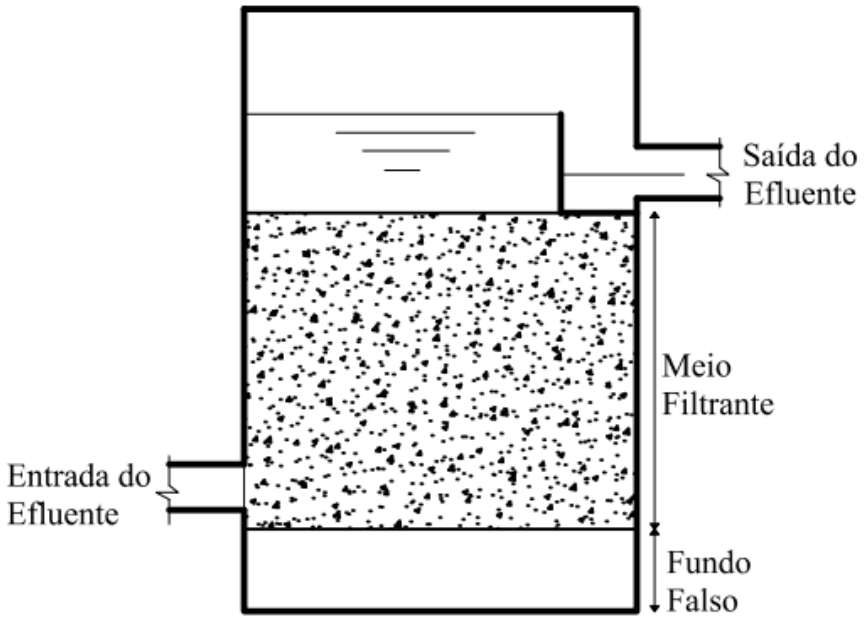


Figura 21: Filtro anaeróbio