

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Antônio Augusto Merladet de Freitas

**PROJETO HIDROSSANITÁRIO E ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICO-
ECONÔMICA DE RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR COM REAPROVEITAMENTO DE
ÁGUAS CINZAS E PLUVIAIS E SOLUÇÃO INDIVIDUAL PARA TRATAMENTO
DE ESGOTO**

Porto Alegre
Maio de 2021

ANTÔNIO AUGUSTO MERLADET DE FREITAS

**PROJETO HIDROSSANITÁRIO E ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICO-
ECONÔMICA DE RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR COM REAPROVEITAMENTO DE
ÁGUAS CINZAS E PLUVIAIS E SOLUÇÃO INDIVIDUAL PARA TRATAMENTO
DE ESGOTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Comissão de Graduação da Engenharia Civil da
Universidade Federal do Rio Grande do Sul como
pré-requisito para obtenção do Título de Bacharel
em Engenharia Civil.

Orientadora: Maria Cristina de Almeida Silva

Porto Alegre

Maio de 2021

ANTÔNIO AUGUSTO MERLADET DE FREITAS

**PROJETO HIDROSSANITÁRIO E ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICO-
ECONÔMICA DE RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR COM REAPROVEITAMENTO DE
ÁGUAS CINZAS E PLUVIAIS E SOLUÇÃO INDIVIDUAL PARA TRATAMENTO
DE ESGOTO**

Este Trabalho de Conclusão foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora, pela Professora Orientadora e pela Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 20 de maio de 2021

Prof. Maria Cristina de Almeida Silva

Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Orientadora

BANCA EXAMINADORA

Prof. Maria Cristina de Almeida Silva (UFRGS)

Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Cristiano Poletto (UFRGS)

PhD pela Coventry University da Inglaterra

Eng. Cátia Raquel Gil Fraga Knies

Engenheira Civil pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

Dedico esse trabalho a meus pais, Daltro (*in memoriam*) e Zaida Beatriz por terem me dado a base do conhecimento de tudo e me incentivarem a buscar a qualificação por meio da graduação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, ao meu pai, Daltro (*in memoriam*), por todo o amor durante 17 anos da minha vida. Também a toda ajuda dada nos anos que antecederam a minha entrada na faculdade, pois foi isso que me possibilitou cursar uma universidade pública.

Agradeço às mulheres da minha vida, primeiramente a minha mãe, Zaida Beatriz, que esteve ao meu lado esse tempo todo, pela dedicação, pelas orações e pelo amor incondicional durante toda a graduação, e a minha namorada Loany por todo o amor e carinho em toda a nossa trajetória desde que nos conhecemos até a nossa formatura na faculdade, sendo essencial seu apoio durante o curso e o trabalho de conclusão. Elas me deram as forças necessárias para conseguir me tornar um Engenheiro.

Agradeço a minha orientadora, Professora Maria Cristina, pelo conhecimento passado nas aulas da disciplina de Instalações Hidrossanitárias Prediais e por estar sempre disposta a me ajudar com o trabalho de conclusão.

Agradeço à toda minha família por sempre me ajudar e me apoiar durante toda a graduação, desde a busca do primeiro estágio até o final do trabalho de conclusão.

Agradeço ao meu primo, Marcos Longaray, por ser peça fundamental na execução desse trabalho de conclusão ao me disponibilizar as plantas baixas de sua nova moradia em Garopaba, Santa Catarina, para serem meu objeto de estudo.

Agradeço a minha chefe, Engenheira Cátia Knies, primeiramente por me dar a oportunidade de trabalhar com o que quero fazer para o resto da vida – projetar utilizando ferramentas de *Building Information Modeling (BIM)* –, por transmitir seus conhecimentos de quase 20 anos de carreira e por aceitar ser banca examinadora deste trabalho de conclusão.

Agradeço ao Gustavo Cerbasi pelos ensinamentos de finanças em seu canal do *Youtube*, bem como pelos vídeos de sua “Casa Inteligente”, que foi a grande inspiração para este trabalho.

RESUMO

As instalações hidrossanitárias são peças fundamentais para o correto funcionamento de uma edificação, sendo responsáveis pela oferta de água e afastamento do esgoto. Na maioria dos casos, há redes públicas que executam essas funções, mas existem localidades que não são munidas desse tipo de infraestrutura, tornando-se focos de doenças devido ao descarte do esgoto diretamente do solo e consumo de água contaminada. Visando evitar esses problemas, foi realizado um projeto, que pode ser utilizado de modelo para residências que não contam com redes de água e esgoto, de uma edificação unifamiliar com desperdício nulo, contendo sistemas de reaproveitamento de águas pluviais (cisternas) e de águas cinzas (*wetland* construído), e tratamento de esgoto por meio de biodigestor. Esses sistemas, além de ajudar na preservação de meio ambiente, por meio da menor utilização de águas subterrâneas e da não infiltração de esgotos no solo, ainda resultam em uma economia mensal quando analisadas a redução do consumo de água potável e a produção de gás diária, mesmo após realizar uma análise financeira e concluir que o retorno do investimento não é tão interessante.

Palavras-chave: instalações hidrossanitárias; água; esgoto; reaproveitamento de água; tratamento de esgoto.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de funcionamento da bomba centrífuga	28
Figura 2 - Esquema de termossifão para aquecimento solar de água.....	32
Figura 3 – Elementos de esgoto sanitário em um banheiro residencial.....	34
Figura 4 - Subcoletor e coletor predial no pavimento térreo	35
Figura 5 - Cisterna da marca Fortlev com separador de folhas	37
Figura 6 - Cisterna da marca Tecnotri com 4 níveis de filtração	38
Figura 7 - Biodigestor Homebiogás.....	42
Figura 8 - Especificações das peças do biodigestor Homebiogás	42
Figura 9 - Vista isométrica da edificação em estudo.....	47
Figura 10 - Planta de implantação da residência em estudo.....	78
Figura 11 - Planta do pavimento térreo	78
Figura 12 - Planta do 2º pavimento	79
Figura 13 - Planta do nível dos reservatórios	79
Figura 14 – Vista isométrica final para o banheiro social	92
Figura 15 – Vista isométrica final para o banheiro suíte.....	92
Figura 16 – Vista isométrica final para a cozinha	93
Figura 17 – Vista isométrica final para o lavabo.....	93
Figura 18 – Vista isométrica final para a área de serviço.....	94
Figura 19 – Vista isométrica do esquema de aquecimento solar de água	96
Figura 20 – Vista isométrica final para o banheiro social	106
Figura 21 – Vista isométrica final para o banheiro suíte.....	106
Figura 22 – Vista isométrica final para a cozinha	107
Figura 23 – Vista isométrica final para o lavabo.....	107
Figura 24 – Vista isométrica final para a área de serviço.....	108
Figura 25 – Vista isométrica final para o banheiro social	113

Figura 26 – Vista isométrica final para o banheiro suíte.....	113
Figura 27 – Vista isométrica final para a cozinha	114
Figura 28 – Vista isométrica final para o lavabo.....	114
Figura 29 – Vista isométrica final para a área de serviço.....	115
Figura 30 – Vista isométrica final para o banheiro social	119
Figura 31 – Vista isométrica final para o banheiro suíte.....	119
Figura 32 – Vista isométrica final para a cozinha	120
Figura 33 – Vista isométrica final para o lavabo.....	120
Figura 34 – Vista isométrica final para a área de serviço.....	121
Figura 35 - Vista isométrica das instalações de águas pluviais.....	123
Figura 36 - Instalações de reuso de águas pluviais.....	128

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação do Sistema de Aquecimento Solar	31
Tabela 2 - Parâmetros para o reuso de águas cinzas em relação às diferentes classes de uso..	44
Tabela 3 - Faixas prováveis de remoção dos poluentes, conforme o tipo de tratamento, consideradas em conjunto com o tanque séptico (em %).....	44
Tabela 4 - Algumas características dos processos de tratamento (exclui tanque séptico)	45
Tabela 5 - Dimensões dos tubos soldáveis de água fria	49
Tabela 6 - Acréscimos de potências nas bombas sobre o valor calculado	51
Tabela 7 - Diâmetros mínimos dos sub-ramais	52
Tabela 8 - Pesos relativos nos pontos de utilização, identificados em função do aparelho sanitário e da peça de utilização	53
Tabela 9 - Dimensões dos tubos Aquatherm.....	56
Tabela 10 - Unidades de Hunter de contribuição dos aparelhos sanitários e diâmetro nominal mínimo dos ramais de descarga.....	57
Tabela 11 - Unidades de Hunter de contribuição para aparelhos não relacionados na tabela 10	58
Tabela 12 - Dimensionamento dos ramais de esgoto	59
Tabela 13 - Dimensionamento de tubos de queda.....	59
Tabela 14 - Dimensionamento de subcoletores e coletor predial.....	59
Tabela 15 - Distância máxima de um desconector ao tubo ventilador	60
Tabela 16 - Dimensionamento de ramais de ventilação	60
Tabela 17 - Dimensionamento de colunas e barriletes de ventilação.....	61
Tabela 18 - Chuvas intensas no Brasil (duração - 5 minutos).....	62
Tabela 19 - Coeficientes multiplicativos da vazão de projeto.....	64
Tabela 20 - Coeficientes de rugosidade.....	64
Tabela 21 - Capacidade de condutores horizontais de seção circular (L/min.).....	65
Tabela 22 - Coeficientes de <i>runoff</i> para diferentes tipos de cobertura	66

Tabela 23 - Demanda residencial de água não potável	67
Tabela 24 - Dimensionamento do reservatório - Método de Rippl	68
Tabela 25 - Tempos de retenção de sólidos sugeridos para o dimensionamento de digestores anaeróbios completamente misturados	69
Tabela 26 - Resumo dos coeficientes biocinéticos e estequiométricos de produção de metano no tratamento anaeróbio de efluentes	71
Tabela 27 - Consumo de biogás em várias serventias	72
Tabela 28 - Quantificação do consumo de água nas peças hidrossanitárias geradoras de águas cinzas	73
Tabela 29 – Comprimento equivalente da tubulação de sucção ($L_{\text{Sequivalente}}$).....	81
Tabela 30 – Comprimento equivalente da tubulação de recalque ($L_{\text{Requivalente}}$).....	82
Tabela 31 – Pré-dimensionamento dos ramais e sub-ramais do banheiro social, banheiro suíte e cozinha	83
Tabela 32 – Pré-dimensionamento dos ramais e sub-ramais do lavabo e da área de serviço ..	83
Tabela 33 – Cálculo das perdas de carga para o banheiro social	84
Tabela 34 – Cálculo das perdas de carga para o banheiro suíte	84
Tabela 35 – Cálculo das perdas de carga para a cozinha.....	85
Tabela 36 – Cálculo das perdas de carga para o lavabo	85
Tabela 37 – Cálculo das perdas de carga para a área de serviço	86
Tabela 38 – Verificação das pressões para o banheiro social.....	86
Tabela 39 – Verificação das pressões para o banheiro suíte	87
Tabela 40 – Verificação das pressões para a cozinha.....	87
Tabela 41 – Verificação das pressões para o lavabo	87
Tabela 42 – Verificação das pressões para a área de serviço	87
Tabela 43 – Resultado final da verificação de pressões para o banheiro social	89
Tabela 44 – Resultado final da verificação de pressões para o banheiro suíte.....	89
Tabela 45 – Resultado final da verificação de pressões para a cozinha	90

Tabela 46 – Resultado final da verificação de pressões para o lavabo.....	90
Tabela 47 – Resultado final da verificação de pressões para a área de serviço	91
Tabela 48 – Determinação da vazão do aquecedor de passagem a gás	94
Tabela 49 – Verificação das pressões de água quente no sistema de passagem a gás para o banheiro social.....	97
Tabela 50 – Verificação das pressões de água quente no sistema de passagem a gás para o banheiro suíte.....	98
Tabela 51 – Verificação das pressões de água quente no sistema de passagem a gás para a cozinha.....	99
Tabela 52 – Verificação das pressões de água quente no sistema de passagem a gás para o lavabo	100
Tabela 53 – Verificação das pressões de água quente no sistema de passagem a gás para a área de serviço.....	100
Tabela 54 – Correlação entre diâmetros de água fria (PVC) e água quente (CPVC).....	101
Tabela 55 – Verificação das pressões de água quente no sistema de passagem a gás para o banheiro social com pressurizador	102
Tabela 56 – Verificação das pressões de água quente no sistema de passagem a gás para o banheiro suíte com pressurizador	103
Tabela 57 – Verificação das pressões de água quente no sistema de passagem a gás para a cozinha com pressurizador	104
Tabela 58 – Verificação das pressões de água quente no sistema de passagem a gás para o lavabo com pressurizador	105
Tabela 59 – Verificação das pressões de água quente no sistema de passagem a gás para a área de serviço com pressurizador	105
Tabela 60 – Verificação das pressões de água quente no sistema solar para o banheiro social com aumento do diâmetro dos tubos	109
Tabela 61 – Verificação das pressões de água quente no sistema solar para o banheiro suíte com aumento do diâmetro dos tubos	110

Tabela 62 – Verificação das pressões de água quente no sistema solar para a cozinha com aumento do diâmetro dos tubos	111
Tabela 63 – Verificação das pressões de água quente no sistema solar para o lavabo com aumento do diâmetro dos tubos	112
Tabela 64 – Verificação das pressões de água quente no sistema solar para a área de serviço com aumento do diâmetro dos tubos	112
Tabela 65 – Somatório das contribuições de esgoto em cada ambiente.....	115
Tabela 66 – Dimensionamento dos ramais de esgoto de águas cinzas.....	116
Tabela 67 – Dimensionamento dos tubos de queda de águas cinzas.....	117
Tabela 68 – Dimensionamento dos ramais de ventilação.....	118
Tabela 69 – Dimensionamento das colunas de ventilação	118
Tabela 70 – Precipitação em mm da série histórica de 30 anos para o município de Garopaba – SC	124
Tabela 71 – Aplicação do Método de Rippl para dimensionamento do reservatório de águas pluviais	125
Tabela 72 - Comprimento equivalente da tubulação de sucção ($L_{\text{Sequivalente}}$)	127
Tabela 73 - Comprimento equivalente da tubulação de recalque ($L_{\text{Requivalente}}$)	127
Tabela 74 - Verificação de pressões para as bacias sanitárias, que recebem água de reuso pluvial	129
Tabela 75 – Temperaturas mínimas e máximas mensais da série histórica de 30 anos para Garopaba – SC.....	130
Tabela 76 – Custo dos equipamentos utilizados nos sistemas alternativos (investimento processado no momento zero = I_0)	137
Tabela 77 - Valores das tarifas de água e gás cobradas na localidade de Garopaba.....	137

LISTA DE SÍMBOLOS

C_d : Consumo diário total (litros/dia)

P : População da edificação (habitantes)

q : Consumo *per capita* (litros/habitantes.dia)

CR : Capacidade do reservatório (litros)

Q_{bomba} : Vazão da bomba (m^3/s)

T_{func} : Tempo diário de funcionamento da bomba (horas)

D_r : Diâmetro nominal do tubo de recalque (metros)

v : velocidade do líquido na tubulação (m/s)

J : Perda de carga unitária em tubos lisos de PVC (kPa/m)

H_{man} : Altura manométrica total da instalação de sucção e recalque (m.c.a.)

H_S : Altura geométrica (vertical) de sucção (m.c.a.)

H_R : Altura geométrica (vertical) de recalque (m.c.a.)

L_{real} : Comprimento real de tubulações (metros)

$L_{equivalente}$: Comprimento equivalente de todas as conexões somadas do trecho, encontrado na tabela do anexo A

P : Potência da bomba (CV)

γ : Peso específico do líquido (kg/m^3)

η : Rendimento total da bomba

Q_{est} : Vazão estimada no trecho de tubulação considerado (L/s)

ΣP : Somatório dos pesos no trecho de tubulação considerado

d_{int} : diâmetro interno do tubo (mm)

Q : Vazão de projeto (L/min)

I : Intensidade pluviométrica (mm/h)

A : Área de contribuição (m^2)

R_{HS} : Raio hidráulico para seções semicirculares (m)

D_{int} : Diâmetro interno da seção semicircular (m)

R_{HR} : Raio hidráulico para seções retangulares (m)

b: Comprimento da base da calha da seção retangular (m)

h: Altura da lâmina d'água na calha na seção retangular (m)

S: Área da seção molhada (m^2)

n: Coeficiente de rugosidade

R_H : Raio hidráulico (m)

i: Declividade do condutor horizontal (m/m)

V_{disp} : Volume disponível anual, mensal ou diário de água da chuva (L)

P: Precipitação média anual, mensal ou diária (mm)

A: Área de contribuição da cobertura (m^2)

C: Coeficiente de escoamento superficial da cobertura (*runoff*)

η : Eficiência do sistema de captação, incluindo o dispositivo de descarte de sólidos e desvio de escoamento inicial.

V_{CH_4} : Volume de metano produzido nas CNTP (0°C e 1 atm) (m^3/d)

K_t : Fator teórico de conversão de 1 g de DQO_b , à temperatura de funcionamento do biodigestor, em metano (m^3)

S_0 : DQO_b no afluente (g/m^3)

S: DQO_b no efluente (g/m^3)

P_x : Massa líquida de tecido celular produzida diariamente (kg/d)

K: DQO correspondente a 1 mol de CH_4 (64g DQO/mol CH_4)

R: Constante de gases (0,08206 atm.L/mol.°K)

t: Temperatura real de operação do biodigestor (°C)

Y: Coeficiente de produção com valores típicos entre 0,05 e 0,10 (g SSV/g DQO_b)

b: Coeficiente endógeno com valores típicos entre 0,02 e 0,04 (g/g.dia)

TRS: Tempo de retenção de sólidos (dias)

$V_{\text{produzido no pico}}$: quantidade de gás produzida durante as horas de pico (m^3)

$CD_{\text{gás}}$: Consumo diário total de gás (m^3)

T_{pico} : Duração do pico de consumo (horas)

V_g : Volume do gasômetro (m^3)

$V_{\text{consumido no pico}}$: quantidade de gás consumida durante as horas de pico (m^3)

P: Porosidade do leito (%)

V_t : Volume útil total do leito (m^3)

V_s : Volume de sólidos presentes no leito

K_{20} : Constante de decaimento a 20°C , com valor de $1,104 \text{ d}^{-1}$ para remoção de $\text{DBO}_{5,20}$ em *wetlands* com escoamento subsuperficial a 20°C (d^{-1})

θ : Coeficiente de temperatura, com valor de 1,06 para remoção de $\text{DBO}_{5,20}$ em *wetlands* com escoamento subsuperficial a 20°C

T: Temperatura da *wetland* construída ($^\circ\text{C}$)

A_s : Área superficial do leito (m^2)

$Q_{\text{média}}$: Vazão média afluyente no leito (m^3/dia)

C_a : Concentração do poluente no afluyente (g/m^3)

C_e : Concentração do poluente no efluente (g/m^3)

I_0 : Investimento processado no momento zero (R\$)

FC_t : Fluxo (benefício) esperado de caixa líquido de cada período (R\$)

K: Taxa de desconto do projeto, representada pela rentabilidade mínima requerida (%)

I_t : Valor do investimento previsto em cada período subsequente (R\$)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA	21
2	DIRETRIZES DO TRABALHO	23
2.1	OBJETIVOS	23
2.2	DELIMITAÇÕES	23
2.3	LIMITAÇÕES	23
2.4	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	24
3	INSTALAÇÕES HIDROSSANITÁRIAS PREDIAIS	25
3.1	INSTALAÇÕES DE ÁGUA FRIA	25
3.1.1	Tipos de aquíferos	25
3.1.2	Tipos de poços para captação de água subterrânea	26
3.1.3	Sistemas de bombeamento	27
3.1.4	Sistemas de abastecimento de água fria	28
3.1.5	Sistemas de reservação de água fria	29
3.1.6	Sistemas de distribuição interna de água fria	29
3.2	INSTALAÇÕES DE ÁGUA QUENTE.....	30
3.2.1	Aquecimento Solar	31
3.3	INSTALAÇÕES DE ESGOTO SANITÁRIO.....	32
3.4	INSTALAÇÕES DE ÁGUAS PLUVIAIS	35
3.5	SISTEMA DE REUSO DAS ÁGUAS PLUVIAIS	36
3.6	SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO COM BIODIGESTOR.....	38
3.6.1	Tipos de biodigestores	38
3.6.2	Funcionamento do biodigestor	39
3.6.3	Aplicações do biogás	39
3.6.4	Tratamento e purificação do biogás.....	39

3.7	SISTEMA DE BIODIGESTÃO HOMEBIOGÁS	41
3.8	SISTEMA DE REUSO DAS ÁGUAS CINZAS	43
3.9	ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS DE REUSO DE ÁGUA E TRATAMENTO DE ESGOTO	45
3.10	IMPORTÂNCIA DA IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS DE REUSO DE ÁGUA E TRATAMENTO DE ESGOTO	45
4	METODOLOGIA	47
4.1	INSTALAÇÕES DE ÁGUA FRIA	47
4.1.1	Dimensionamento do reservatório	48
4.1.2	Dimensionamento do sistema de recalque	48
4.1.3	Dimensionamento das tubulações de distribuição interna.....	51
4.2	INSTALAÇÕES DE ÁGUA QUENTE.....	55
4.2.1	Consumo de água quente	55
4.2.2	Dimensionamento do aquecedor de passagem a gás	55
4.2.3	Dimensionamento do aquecedor solar.....	55
4.2.4	Dimensionamento das tubulações de distribuição.....	56
4.3	INSTALAÇÕES DE ESGOTO SANITÁRIO.....	57
4.3.1	Dimensionamento de dispositivos complementares.....	57
4.3.2	Dimensionamento dos ramais de esgoto	58
4.3.3	Dimensionamento dos tubos de queda	59
4.3.4	Dimensionamento do subcoletor e coletor predial	59
4.3.5	Dimensionamento dos ramais de ventilação	60
4.3.6	Dimensionamento das colunas de ventilação	60
4.4	INSTALAÇÕES DE ÁGUAS PLUVIAIS	61
4.4.1	Dimensionamento das calhas e condutores horizontais	62
4.4.2	Dimensionamento dos condutores verticais	65
4.4.3	Dimensionamento dos elementos complementares.....	65

4.5	SISTEMA DE REUSO DAS ÁGUAS PLUVIAIS	66
4.6	SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO COM BIODIGESTOR.....	69
4.7	SISTEMA DE REUSO DAS ÁGUAS CINZAS	73
4.7.1	Sistema de tratamento com <i>wetlands</i> construídos de escoamento horizontal subsuperficial.....	74
4.8	ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICO ORÇAMENTÁRIA PARA IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS DE REUSO DE ÁGUA E TRATAMENTO DE ESGOTO	76
4.8.1	Análise técnica para implantação dos sistemas de reuso de água e tratamento de esgoto	76
4.8.2	Análise orçamentária para a implantação dos sistemas de reuso de água e tratamento de esgoto.....	76
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	78
5.1	INSTALAÇÕES DE ÁGUA FRIA	79
5.1.1	Dimensionamento do reservatório.....	79
5.1.2	Dimensionamento do sistema de recalque	80
5.1.3	Dimensionamento das tubulações de distribuição interna.....	82
5.2	INSTALAÇÕES DE ÁGUA QUENTE.....	94
5.2.1	Consumo de água quente.....	94
5.2.2	Dimensionamento do aquecedor de passagem a gás.....	95
5.2.3	Dimensionamento do aquecedor solar.....	95
5.2.4	Dimensionamento das tubulações de distribuição do sistema de aquecimento a gás	96
5.2.5	Dimensionamento das tubulações de distribuição do sistema de aquecimento solar	108
5.3	INSTALAÇÕES DE ESGOTO SANITÁRIO.....	115
5.3.1	Dimensionamento de dispositivos complementares.....	115
5.3.2	Dimensionamento dos ramais de esgoto	116

5.3.3	Dimensionamento dos tubos de queda	116
5.3.4	Dimensionamento do subcoletor e coletor predial	117
5.3.5	Dimensionamento dos ramais de ventilação	117
5.3.6	Dimensionamento das colunas de ventilação	118
5.4	INSTALAÇÕES DE ÁGUAS PLUVIAIS	121
5.4.1	Dimensionamento das calhas e condutores horizontais	122
5.4.2	Dimensionamento dos condutores verticais	122
5.4.3	Dimensionamento dos elementos complementares.....	122
5.5	SISTEMA DE REUSO DAS ÁGUAS PLUVIAIS	123
5.5.1	Dimensionamento do reservatório de águas pluviais	123
5.5.2	Dimensionamento do sistema de recalque	126
5.5.3	Dimensionamento das tubulações de distribuição interna.....	128
5.6	SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO COM BIODIGESTOR.....	130
5.7	SISTEMA DE REUSO DAS ÁGUAS CINZAS	134
5.7.1	Sistema de tratamento com <i>wetlands</i> construídos de escoamento horizontal subsuperficial.....	134
6	ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA DAS ALTERNATIVAS	
	136	
6.1	ANÁLISE TÉCNICA PARA IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS DE REUSO DE ÁGUA E TRATAMENTO DE ESGOTO	136
6.2	ANÁLISE ORÇAMENTÁRIA PARA A IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS DE REUSO DE ÁGUA E TRATAMENTO DE ESGOTO	137
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	140
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	141
	ANEXOS	144
	ANEXO A – PERDAS DE CARGA LOCALIZADAS – EQUIVALÊNCIA EM METROS DE TUBULAÇÃO DE PVC RÍGIDO	145

ANEXO B – ÁBACOS PARA DETERMINAÇÃO DO RENDIMENTO DA BOMBA	147
ANEXO C – NOMOGRAMA DE PESOS, VAZÕES E DIÂMETROS	149
ANEXO D – ÁBACOS PARA DIMENSIONAMENTO DOS CONDUTORES VERTICAIS DE ÁGUAS PLUVIAIS	151
ANEXO E – VISTA DE CORTE COM A REPRESENTAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS SUPERIORES DE ÁGUA FRIA E DE REUSO	153

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA

A disponibilidade de água para consumo humano é um problema que afeta uma parte considerável da população mundial, seja por mau uso dos recursos disponíveis ou motivos de clima, variações entre estações do ano, secas e enchentes. No Brasil, por exemplo, as ofertas de água doce têm sua maior concentração na região Norte, e a menor na região Nordeste. Um fator que justifica essa disparidade na disponibilidade hídrica entre as regiões são as condições de acesso à água de qualidade, que, se fossem favoráveis, poderiam amenizar essas dificuldades e disponibilizar água de forma proporcional entre as localidades (ANA, 2009).

Mesmo com a crise hídrica alarmante no País, existem locais em que a água ainda é mal utilizada, seja por perfil de consumo ou por falhas nas instalações hidráulicas, gerando efluentes desnecessários para as estações de tratamento de esgoto e um custo adicional para a população. Por essas razões, começou a se pensar em meios de diminuir as perdas de água nas edificações e as tarifas pagas ao sistema de abastecimento, utilizando-se tecnologias que conscientizam os usuários como a medição de água individualizada e outras que permitem menor consumo por uso como as bacias sanitárias com duplo acionamento para vazões de 3 e 6 litros.

Outro sistema já conhecido é o reuso de águas com finalidades não potáveis como em bacias sanitárias, lavagem de carros, pátios e jardins. O reaproveitamento de águas pluviais, ou seja, originadas das chuvas, segundo Veról et al (2019), é uma prática muito antiga, sendo muito utilizada desde as sociedades antigas, com finalidades de irrigação e até mesmo consumo humano, necessitando tratamento para este fim. Além desses benefícios, se utilizado em escala regional, pode ajudar a conter alagamentos nas cidades, pois é uma água residuária que não contribui para a rede pública.

Existe também o reuso de águas cinzas, que são os efluentes dos chuveiros, lavatórios e máquinas de lavar roupas. Este tipo é muito menos utilizado que o pluvial pelo fato de apresentar menor qualidade, podendo conter oleosidade, secreções corporais, produtos químicos e maior número de organismos patogênicos. Porém, a NBR 13969 (ABNT, 1997) classifica os usos não potáveis com a finalidade de especificar o tratamento necessário para cada classe. Após os devidos tratamentos, as águas servidas cinzas já podem ser reutilizadas, potencializando a redução do consumo, assim como retardando o lançamento de esgoto na rede pública.

A ideia deste trabalho foi chegar próximo a uma edificação com Balanço Hidráulico Nulo (*Net Zero Water Building*), porém como ainda não se tem o equilíbrio entre oferta e demanda, já que é necessária uma fonte externa de água potável, foi projetada uma edificação com Desperdício Nulo (*Net Zero Waste Building*). Para isso, também se pensou em um sistema de tratamento de águas servidas negras que não trouxesse prejuízos no longo prazo para o meio ambiente. Com esse objetivo, procurou-se um sistema que não infiltrasse o esgoto no solo, mesmo após ser previamente tratado em filtros e fossas. Concluiu-se, então, que o esgoto seria tratado com um biodigestor que pudesse gerar subprodutos como gás de cozinha e fertilizante para solo, ajudando mais uma vez na economia de insumos da residência.

2 DIRETRIZES DO TRABALHO

2.1 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo realizar o dimensionamento das instalações hidrossanitárias de uma residência unifamiliar, composto por sistema de abastecimento de água fria, água quente, esgoto cloacal e pluvial, avaliando a viabilidade do emprego de soluções de reuso de água e de implementação de biodigestor para tratamento de esgoto.

Definiu-se como objetivos específicos:

- a) Realizar o dimensionamento, de acordo com todas as normas vigentes, do sistema de água fria, água quente por sistema solar e a gás, tratamento esgoto sanitário por meio de biodigestor, esgoto pluvial munido de cisternas para reserva de água da chuva, e sistema de tratamento e reuso de águas cinzas por meio de *wetlands* construídos;
- b) Analisar a viabilidade técnico-econômica das diferentes soluções para redução do consumo de água potável por meio do reaproveitamento de águas pluviais com cisternas e filtros, e de águas cinzas por meio de *wetlands*. Também analisar a viabilidade da solução de tratamento de esgoto por meio de biodigestor;
- c) Comparar a viabilidade técnico-econômica do abastecimento único de água potável com o reaproveitamento de águas pluviais e cinzas, e da disposição dos esgotos em rede pública com o tratamento de esgoto por meio de biodigestor;

2.2 DELIMITAÇÕES

O presente trabalho delimita-se a dimensionar as instalações hidrossanitárias para uma residência unifamiliar de 2 pavimentos mais o volume que contém os reservatórios superiores. O sistema de reaproveitamento de água terá uma redundância de abastecimento através de poço artesiano caso as reservas de águas pluviais e cinzas sejam insuficientes. O sistema de aquecimento solar de água terá a redundância do sistema a gás, caso não haja sol. Também se delimita a realizar um estudo de viabilidade técnico-econômica das soluções alternativas de reaproveitamento de água e tratamento de esgoto utilizadas no projeto.

2.3 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

- a) Não será realizado o projeto de perfuração de poço devido à inexistência de dados. O sistema de captação de águas subterrâneas já existe no local, sendo utilizada uma bomba centrífuga para elevar a água para o reservatório superior.
- b) A arquitetura a ser utilizada como base para o dimensionamento será de uma residência existente no município de Garopaba, Santa Catarina, onde não existem redes de água e de esgoto próximas.
- c) Os dados de precipitação e intensidade de chuvas, para o cálculo da vazão pluvial de projeto, serão considerados para a cidade de Florianópolis devido à inexistência de dados normativos para a localidade da edificação em estudo.
- d) No cálculo dos reservatórios de água fria não será considerada reserva de incêndio.
- e) Para o cálculo da viabilidade econômica e tempo de retorno do investimento das soluções alternativas será levado em consideração somente o investimento inicial, sendo excluídos dos cálculos os gastos com manutenção periódica dos sistemas.

2.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho foi dividido em 7 capítulos. O capítulo 1 apresentou o tema do trabalho, demonstrando sua importância e relevância com a problemática do meio ambiente focada nas edificações. Já o capítulo 2 expôs os objetivos do trabalho, bem como suas delimitações e limitações. No capítulo 3, foi realizada a revisão de todos os conceitos utilizados no dimensionamento das instalações hidrossanitárias prediais.

Já no capítulo 4, é exposta a metodologia de dimensionamento dos sistemas hidrossanitários prediais. O capítulo 5 engloba os resultados do dimensionamento obtidos para a edificação em estudo. No capítulo 6, é realizada a análise técnico-econômica dos sistemas alternativos utilizados na edificação que complementam as instalações hidrossanitárias básicas. Por fim, no capítulo 7 são feitas as considerações finais acerca dos resultados obtidos nos capítulos anteriores.

3 INSTALAÇÕES HIDROSSANITÁRIAS PREDIAIS

3.1 INSTALAÇÕES DE ÁGUA FRIA

As instalações de água fria, de acordo com Macintyre (1996), são constituídas por tubulações, conexões, registros, medidores, reservatórios e peças hidrossanitárias com diversas funções como suprimento, medição, armazenamento, comando, controle e distribuição de água aos pontos de utilização. Suas utilizações estão diretamente ligadas à alimentação, higiene e conforto das pessoas, e para garantir essas características aos usuários, a NBR 5626 (ABNT, 2020) estabeleceu os seguintes requisitos para projetos de água fria e água quente:

- a) Preservar a potabilidade da água potável;
- b) Assegurar o fornecimento contínuo de água com vazões e pressões adequadas nos pontos de utilização;
- c) Considerar acesso para verificação e manutenção;
- d) Evitar níveis de ruído inadequados nos ambientes;
- e) Proporcional fácil localização e adequada operação das peças hidrossanitárias;
- f) Minimizar a ocorrência de patologias.

De acordo com dados do IBGE (2017), dos 5570 municípios brasileiros, 5548 são abastecidos por meio de redes de água municipais, representando 99,6% do total. Porém, segundo Macintyre (1996), em locais onde não há rede de água municipal, uma das soluções possíveis é recorrer à captação de água subterrânea com a construção de poços artesianos profundos.

A água subterrânea é a água que está no subsolo abaixo do lençol freático e encontra-se armazenada nos chamados aquíferos, em solos e rochas totalmente saturados. Sua existência pode causar problemas geotécnicos como a instabilidade do terreno e até recalques diferenciais em construções. Por outro lado, pode ser a solução para o problema de falta de água (FREEZE e CHERRY, 2017).

3.1.1 Tipos de aquíferos

Segundo Feitosa et al. (2008, p. 61), os aquíferos podem ser classificados:

De acordo com a pressão das águas nas suas superfícies limítrofes (superior, chamada topo, e inferior, chamada base) e, também, em função da capacidade de transmissão de água dessas respectivas camadas limítrofes (do topo, camada confinante superior, e da base, camada confinante inferior).

Feitosa et al. (2008) ainda comentam que os aquíferos se classificam em relação à pressão nas superfícies limítrofes como:

- a) Aquíferos confinados: são aqueles cuja pressão da água é diferente da pressão atmosférica. Dividem-se em confinados não-drenantes, cuja base é impermeável, e confinados drenantes, cuja base é semipermeável. Dependendo das características, um poço que perfura um aquífero confinado não-drenante pode ser chamado de artesianosurgente ou jorrante.
- b) Aquíferos livres: são aqueles cuja pressão da água se iguala com a pressão atmosférica. Também se dividem em não-drenantes e drenantes. Em caso de perfuração por poço, como o limite superior do aquífero é a própria superfície freática que se encontra à pressão atmosférica, não há diferença de pressões, logo a água não jorra na superfície.

3.1.2 Tipos de poços para captação de água subterrânea

Segundo Feitosa et al. (2008), os tipos de poços variam em função da oferta de aquíferos no local, bem como os equipamentos disponíveis no mercado regional para a perfuração. Também dependem da demanda de vazão da(s) residência(s) a ser(em) abastecida(s). Os autores ainda sugerem que a classificação dos poços varia com o método de perfuração a ser utilizado:

- a) Poços escavados manualmente: podem também ser chamados de poços amazonas, cacimbas ou cacimbões, são o tipo mais limitado por usarem técnicas manuais e explorar, geralmente, recursos hídricos na ordem de 1 a 20 metros de profundidade.
- b) Poços coletores com drenos horizontais e drenos radiais: comum em aquíferos superficiais, esse tipo de poço capta água de aluviões com a instalação de drenos horizontais ou radiais em conjunto com um filtro comprido e um poço coletor, livre da ocorrência de enchentes, o qual bombeia a água até a rede de distribuição.
- c) Galerias drenantes: são um tipo de obra escavada em rocha diretamente constituída de túneis visando a captação em conjunto com o transporte de água, tendo diversos furos para a ventilação e retirada de material escavado.
- d) Poços tubulares: poços que após a perfuração recebem revestimentos de tubos que intervêm na sua vida útil, podendo ser de natureza metálica ou plástica. Vasconcelos (2015) ainda divide esse tipo de poço em 3 categorias de acordo com a carga hidráulica existente no aquífero:

- Freático: poço que faz a captação de água de aquíferos submetidos à pressão atmosférica;
- Artesiano não jorrante: a captação ocorre em aquíferos confinados em que o nível topográfico do terreno se encontra acima do nível potenciométrico do aquífero. Como o nome diz, a água não jorra naturalmente, necessitando o uso de bombas para obtenção da água;
- Artesiano jorrante: poço que jorra água na superfície devido ao nível topográfico do terreno estar mais baixo que o nível potenciométrico do aquífero. Sem necessidade de bombeamento.

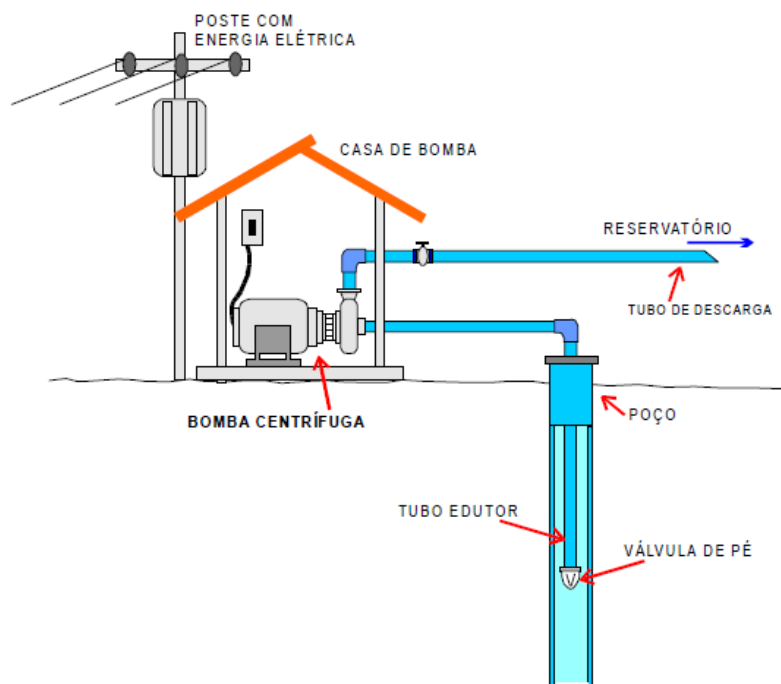
3.1.3 Sistemas de bombeamento

As bombas, de acordo com Macintyre (1996), podem ser definidas como máquinas que transformam o trabalho mecânico de um motor em energia hidráulica, passando para o líquido em forma de energia potencial de pressão e energia cinética. Estes equipamentos são utilizados para fazer a água vencer diferenças de níveis, quando o líquido não pressão suficiente para isso.

Carvalho Júnior (2014) comenta que em edificações com altura acima de 9 metros, devido à pressão insuficiente da rede pública, a alimentação por sistema indireto sem bombeamento fica inviável. Nesse caso, é necessário um sistema de bombas para elevar a água do reservatório inferior ao superior.

Já no caso de poços tubulares, Costa Filho et al. (1998) comentam que existem diversos tipos de unidades de bombeamento da água subterrânea, que vão desde as bombas submersas, injetoras, centrífugas e manuais até cata-ventos e compressores de ar. No entanto, o tipo mais comum para edificações de pequeno porte são as bombas centrífugas, pois conseguem suprir a baixa quantidade de água demandada com um bom desempenho e fácil instalação (indicada para vazões menores que 3600 litros/hora). Esse tipo de bomba está representado na Figura 1.

Figura 1 - Esquema de funcionamento da bomba centrífuga



(Fonte: COSTA FILHO et al, 1998)

3.1.4 Sistemas de abastecimento de água fria

A água subterrânea, após sua captação pelo poço, é direcionada para o interior da residência, podendo ser distribuída através de três sistemas de abastecimento, de acordo com Carvalho Júnior (2013):

- a) Sistema de distribuição direto: a água é distribuída de forma ascendente, sem ficar estocada em reservatórios. O custo da instalação é menor, porém é necessário que a fonte de água tenha pressão suficiente para abastecer os pontos hidráulicos, e ainda se fica sujeito à falta d'água em casos de manutenção na rede.
- b) Sistema de distribuição indireto: esse tipo de abastecimento pode ser executado com ou sem bombeamento. Os dois métodos utilizam reservatórios para garantir pressão suficiente e constância de abastecimento, porém só é necessário bombeamento quando a pressão da fonte de água não for capaz de elevar a água até o reservatório superior, exigindo também que se tenha um reservatório inferior.
- c) Sistema de distribuição misto: esse sistema, como o nome já diz, mistura as duas técnicas abordadas acima, sendo os pavimentos mais baixos abastecidos diretamente da rede ou poço com pressão na maioria das vezes maior que a de reservatórios, e os mais altos por distribuição por gravidade.

3.1.5 Sistemas de reservação de água fria

Uma das principais vantagens de se utilizar reservatórios no sistema de água fria é a regularidade do abastecimento, ou seja, pode-se realizar a blindagem das residências contra falhas ou manutenções na rede de abastecimento durante o período de consumo dimensionado para a caixa d'água (CARVALHO JÚNIOR, 2014).

A NBR 5626 (ABNT, 2020) descreve diversas recomendações em relação aos reservatórios com a finalidade de preservar a potabilidade da água, operar corretamente suas funções e realizar manutenções periódicas, sendo as principais descritas abaixo:

- a) Deve-se impedir a entrada de qualquer agente externo, bem como líquidos estranhos no reservatório que ponham em risco a potabilidade da água reservada, sendo dever do usuário posicionar o equipamento em um local com visibilidade para fiscalizar possíveis aberturas ou vazamentos;
- b) O reservatório deve ser projetado para ter um volume total máximo tal que mantenha a potabilidade da água no maior tempo em que o líquido estiver aguardando para ser utilizado;
- c) A entrada de água do alimentador predial no reservatório deve ser munida de dispositivo que realize o controle de admissão da água a fim de garantir o nível de água especificado e impedir o refluxo para a rede;
- d) O reservatório deve conter tubulação para esvaziamento em caso de limpeza, dotada de registro de fechamento. Também deve conter tubulação de extravasão, sem registro, para o caso de elevação do nível maior que o projetado. A tubulação de extravasão deverá ter dispositivo em sua extremidade que impeça a entrada de partículas ou insetos;
- e) Deve-se prever registros de fechamento nas tubulações do alimentador predial e do recalque a fim de facilitar a operação, limpeza e manutenção do reservatório;
- f) O reservatório deve estar localizado em um espaço que permita a livre movimentação ao seu redor e o ingresso no seu interior a fim de facilitar sua limpeza e manutenção.

3.1.6 Sistemas de distribuição interna de água fria

Carvalho Júnior (2014) define a rede de distribuição como o sistema de canalizações que conduzem a água proveniente do reservatório até os pontos de consumo. Esta rede se subdivide em 4 novas classificações:

- a) Barrilete: é onde saem as primeiras tubulações do reservatório, munidas de registros, e é feita a organização e o direcionamento até as colunas;
- b) Coluna: é a canalização que carrega a água verticalmente até os ramais de cada pavimento da edificação;
- c) Ramal: já dentro dos ambientes de utilização, recebe a água vinda da coluna e leva até os sub-ramais;
- d) Sub-ramal: tubulação que conduz a água dos ramais até os pontos de utilização, como torneiras, chuveiros e bacias sanitárias.

A NBR 5626 (ABNT, 2020) estabelece que devem ser previstos registros de fechamento, para possíveis manutenções, no barrilete, na coluna de distribuição a montante do primeiro ramal e no ramal a montante do primeiro sub-ramal. No interior da unidade privativa deve ser previsto pelo menos 1 registro de fechamento para toda a instalação de água fria. No caso de medição individualizada de consumo, deve-se prever registro de fechamento a montante do hidrômetro.

3.2 INSTALAÇÕES DE ÁGUA QUENTE

A NBR 5626 (ABNT, 2020) define a água quente como “água potável com temperatura superior à temperatura do ambiente, aquecida por meio artificial, como por sistemas de aquecimento”. Em vista disso, pode-se definir tais sistemas, sabendo que existem vantagens e desvantagens em cada um deles, dependendo das características de utilização. Carvalho Júnior (2013) descreve 3 principais sistemas de aquecimento:

- a) Individual: abastece um único ponto de utilização, sendo comum ter um aquecedor elétrico ou a gás muito próximo da peça hidrossanitária;
- b) Central privado: sistema em que o aquecedor abastece mais de um ponto de utilização, mas ainda dentro de uma mesma unidade privativa;
- c) Central coletivo: sistema similar ao central privado, porém alimenta mais de uma unidade privativa em uma edificação.

Carvalho Júnior (2013) também define diversos tipos de aquecedores de acordo com o modo de funcionamento e a fonte de calor. Os mais comuns são de passagem, cujo aquecimento é direto, e os de acumulação, com aquecimento indireto. As fontes de calor mais comumente utilizadas são eletricidade, gás ou energia solar. Com isso, os modelos mais utilizados são:

- a) Aquecedor de passagem elétrico: em sua maioria estão dentro do próprio ponto de utilização como chuveiros e torneiras, aquecendo a água à medida que esta passa;
- b) Aquecedor elétrico por acumulação: similar a um *boiler*, porém elétrico, proporciona maior vazão nas peças de utilização e a possibilidade de utilizar mais peças ao mesmo tempo;
- c) Aquecedor a gás de passagem: modelo mais comum do mercado, sendo também o de instalação mais simples. É fixado diretamente na parede, e seu funcionamento consiste em receber água fria diretamente do reservatório e aquecê-la quando o registro de água quente é aberto no ponto de uso;
- d) Aquecedor a gás por acumulação: Armazena a água e a mantém aquecida, sendo mais vantajoso em locais onde o uso simultâneo das peças é alto (mais de 4 pontos ao mesmo tempo).

3.2.1 Aquecimento Solar

O aquecimento de água com energia solar vem sendo cada vez mais utilizado nos últimos anos como uma forma de fugir das altas tarifas pagas em outras fontes de energia mais convencionais. Esse sistema de aquecimento, mesmo com os altos custos de instalação, é muito vantajoso, pois em poucos anos se consegue recuperar o capital investido devido à gratuidade da energia solar (MACINTYRE, 2010).

Segundo a NBR 15569 (ABNT, 2020), existem diversas classificações para os sistemas de aquecimento solar, de acordo com cada atributo do sistema, que se dividem em categorias dentro de cada um destes, conforme a Tabela 1 abaixo:

Tabela 1 - Classificação do Sistema de Aquecimento Solar

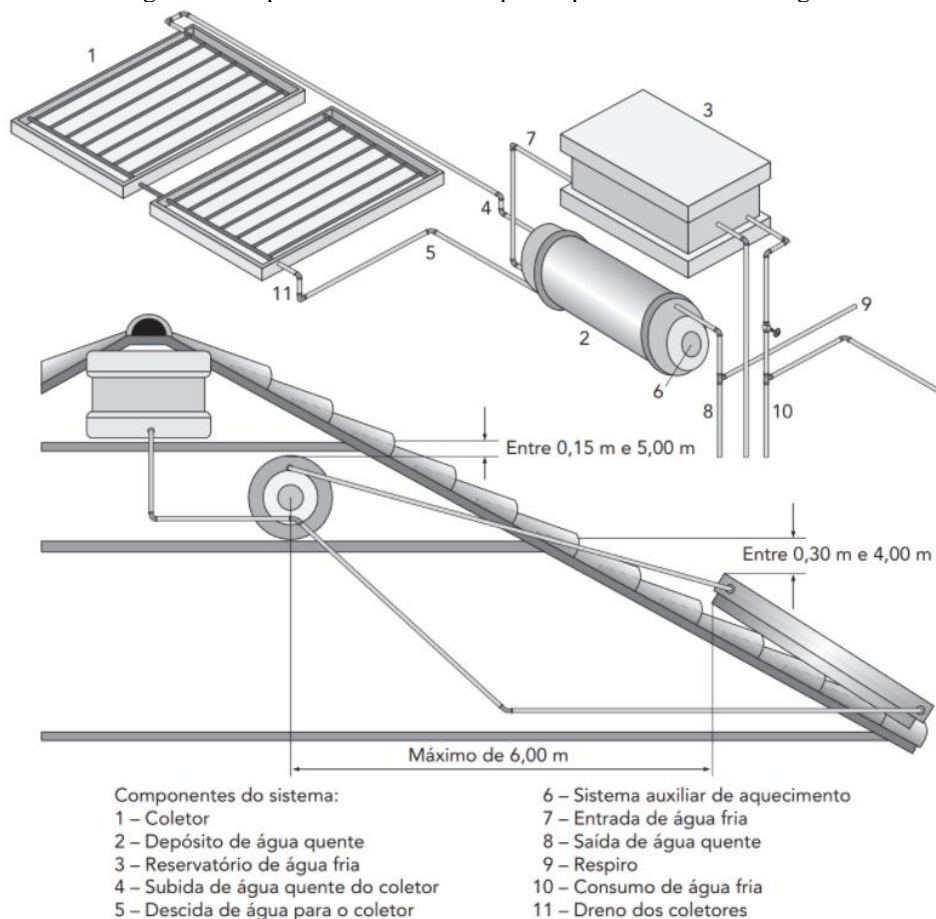
Atributo	Categorias
Arranjo	Solar com aquecimento auxiliar, somente solar ou preaquecimento solar
Circulação	Natural (termossifão) ou forçada
Regime	Acumulação ou passagem
Armazenamento	Convencional, acoplado ou integrado
Alimentação	Exclusiva ou não exclusiva
Alívio de pressão	Respiro ou conjunto de válvulas

(Fonte: NBR 15569 (ABNT, 2020))

Carvalho Júnior (2014) comenta que para ter uma maior eficiência deste sistema de aquecimento, é necessária a correta disposição dos equipamentos na cobertura da edificação. As placas solares devem ser voltadas para o norte, que é a direção com maior luminosidade durante o ano no hemisfério sul, e sua inclinação depende da latitude da cidade. Já o reservatório

de água quente deverá estar localizado em um nível entre a caixa de água fria e as placas solares para uma maior eficiência na movimentação da água quente nos coletores solares. Essa configuração, representada na Figura 2, é a mais comum em residências unifamiliares, sendo o arranjo solar com aquecimento auxiliar ou somente solar e a circulação como natural (termossifão).

Figura 2 - Esquema de termossifão para aquecimento solar de água



(Fonte: CARVALHO JÚNIOR, 2014)

Em dias com insolação baixa ou insuficiente, Macintyre (2010) recomenda o uso de aquecedores auxiliares junto dos reservatórios de água quente com energia convencional. O autor destaca que se deve priorizar o uso da energia solar na maior parte das vezes, mas, quando não for possível, deve-se recorrer a um sistema reserva que utiliza eletricidade ou combustível para o aquecimento da água.

3.3 INSTALAÇÕES DE ESGOTO SANITÁRIO

Carvalho Júnior (2014) define as instalações prediais de esgoto sanitário como sendo o meio pelo qual os dejetos de peças hidrossanitárias são transportados, por gravidade, até a rede pública ou a um receptor de tratamento individual.

A NBR 8160 (ABNT, 1999) estabelece requisitos para o projeto da instalação de esgoto sanitário, sendo os principais listados abaixo:

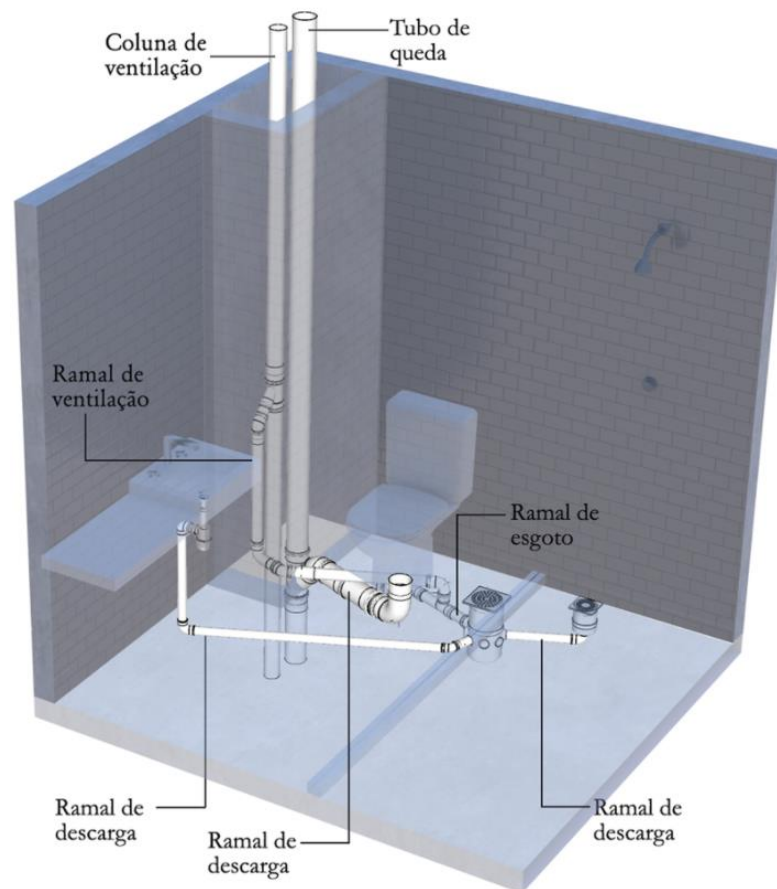
- a) A instalação deve ser projetada de modo a não contaminar a água dos ambientes onde há o consumo do líquido;
- b) As tubulações e peças do sistema de esgoto devem dar condições para a água consumida ser rapidamente transportada para o exterior do ambiente de utilização, evitando vazamentos e a formação de camadas de dejetos nos materiais;
- c) Deve haver meios de impedir que os gases existentes nos tubos de esgoto vazem para o exterior das canalizações atingindo os ambientes de utilização;
- d) Deve ser impedida a entrada de objetos estranhos nas tubulações de esgoto;
- e) Os ramais de ventilação devem ser conectados aos tubos de esgoto de modo que os primeiros não recebam nenhuma contribuição de dejetos;
- f) Os componentes do esgoto devem ser instalados de forma a facilitar futuras inspeções e manutenções.

As instalações de esgoto sanitário, segundo afirma Carvalho Júnior (2014), são formadas por diversos elementos que vão desde os aparelhos sanitários de utilização, tubulações e desconectores, ralos ou caixas sifonadas. Esses elementos se situam em diferentes partes da instalação, que são exibidas nas Figuras 3 e 4 e descritas abaixo:

- Ramal de descarga: é a parte do tubo ligada aos aparelhos sanitários, que recebe diretamente as contribuições de esgoto, seja dos lavatórios, tanques, ralos ou bacias sanitárias. Nos vasos, é o ramal que faz a ligação entre o aparelho e o tubo de queda ou caixa de inspeção. Já nos outros aparelhos sanitários, este ramal faz a conexão entre o ponto de utilização e o desconector (caixa sifonada ou caixa de gordura);
- Ramal de esgoto: é a parte da instalação que recebe os efluentes do ramal de descarga. Liga-se ao coletor predial através de caixa de inspeção em edificações térreas, ou ao tubo de queda em edificações com mais de 1 pavimento;
- Tubo de queda: é a tubulação que conduz verticalmente os efluentes dos ramais de descarga e de esgoto de 2 ou mais pavimentos;
- Subcoletor: tubulação horizontal à jusante dos tubos de queda ou dos ramais de esgoto;
- Coletor predial: último trecho de esgoto localizado entre o subcoletor e o coletor público;

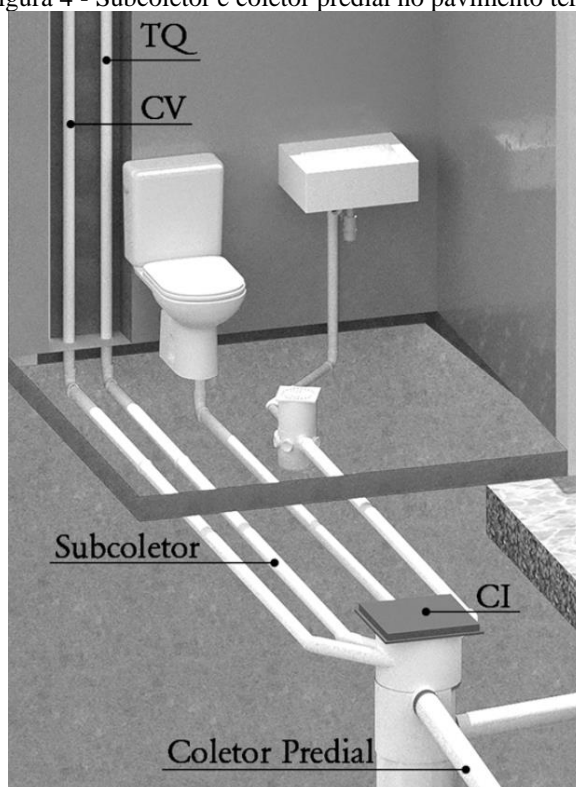
- Ramal de ventilação: é o trecho de tubulação que liga o desconector à coluna de ventilação de modo a proteger a instalação de um possível mau-funcionamento dos fechos hídricos (camada de água existente nos sifões, bacias sanitárias e caixas sifonadas que impede a volta dos gases do esgoto para o ambiente);
- Coluna de ventilação: tubulação vertical que possibilita a comunicação dos ramais de ventilação com a atmosfera, fazendo com que o ar entre e saia da instalação de esgoto a fim de expulsar os gases que geram maus odores;

Figura 3 – Elementos de esgoto sanitário em um banheiro residencial



(Fonte: VEROL et al, 2019)

Figura 4 - Subcoletor e coletor predial no pavimento térreo



(Fonte: VEROL et al, 2019)

Em que:

TQ: Tubo de queda

CV: Coluna de ventilação

CI: Caixa de inspeção

A NBR 8160 (ABNT, 1999) ainda nomeia as instalações de esgoto e ventilação como primárias e secundárias. As instalações de esgoto primárias são os tubos pelos quais entram gases provenientes de tratamentos ou do coletor da rede pública. Já as instalações de esgoto secundárias não recebem estes gases, justamente pelo uso dos desconectores (sifões). No caso das tubulações de ventilação, a primária é aquela que recebe o ar diretamente da atmosfera, geralmente sendo a coluna de ventilação, e tubulação secundária recebe o ar diretamente da coluna e indiretamente da atmosfera.

3.4 INSTALAÇÕES DE ÁGUAS PLUVIAIS

As instalações de águas pluviais têm o objetivo de receber as vazões originadas da água da chuva e realizar o esgotamento dessa água através dos dispositivos de projeto, sem conexão com o esgoto sanitário, a fim de evitar alagamentos em locais pouco permeáveis, erosão do solo, entre outros problemas (CARVALHO JÚNIOR, 2014).

Veról et al (2019) descrevem o caminho da água pluvial na ordem dos elementos existentes na instalação: primeiramente a água da chuva cai no telhado e é direcionada até as calhas ou coletores horizontais no caso de laje impermeabilizada sem telhado, passa pelos ralos hemisféricos que ficam na entrada dos coletores horizontais ou diretamente dos tubos de queda e que impedem a entrada de sujeiras que possam entupir as canalizações. Quando chega ao térreo, após sair dos condutores verticais, é direcionada ao sistema público de drenagem urbana por meio de caixas de areia e condutores horizontais, sempre atuando por gravidade e nunca se ligando com a rede de esgoto sanitário.

A NBR 10844 (ABNT, 1989) estabelece exigências quanto às instalações de águas pluviais:

- Realizar o transporte das águas pluviais, sem provocar vazamentos ou infiltrações no trajeto, até locais permitidos pelos órgãos públicos;
- Permitir limpeza e manutenção em qualquer ponto ao longo da instalação;
- Resistir aos esforços gerados por variações térmicas e por choques mecânicos, bem como às intempéries nos materiais que ficam expostos a estas e às pressões que podem sofrer durante o uso;
- Utilizar materiais compatíveis com os diferentes materiais de construção;
- Fixar de maneira correta para não haver risco de desprendimento e redução da vida útil.

3.5 SISTEMA DE REUSO DAS ÁGUAS PLUVIAIS

O reuso da água pluvial é uma prática antiga que tem como principal utilidade promover maior oferta de água para abastecimento não potável. Esse sistema, além de auxiliar no controle de alagamentos e inundações em áreas urbanas, ainda tem a grande vantagem de evitar a escassez de água nas residências estabelecidas em locais com secas. Entre as suas utilizações mais comuns, estão o uso em bacias sanitárias, lavagem de carros e pisos, e a rega de jardim. (VERÓL et al, 2019).

Alves et al (2008) descrevem 7 passos que a água da chuva percorre até ser reutilizada nas residências, são estes:

- Captação, que ocorre principalmente nos telhados;
- Condução, que é feita por meio de calhas e condutores verticais e horizontais;
- Tratamento, que se divide em filtração de materiais grosseiros como folhas e galhos de árvores; descarte dos primeiros milímetros de chuva, pois têm alta concentração de

poluentes e microrganismos; filtração de materiais finos e desinfecção com sistemas de aplicação de cloro, ozônio ou raio ultravioleta;

- Armazenamento, que é feito somente com reservatório superior ou inferior, ou com os dois reservatórios nos diferentes níveis, sendo o primeiro caso com abastecimento por gravidade e os dois últimos necessitando de bomba de recalque. Esses reservatórios também podem ser chamados de cisternas, ilustradas nas Figuras 5 e 6;
- Tubulações sob pressão, situação que dependerá da locação dos reservatórios, como mencionado acima, sujeitas à distribuição dos ambientes e níveis da edificação;
- Sistema automático ou manual de comando, que serve para alimentar com água potável quando ocorrem estiagens, podendo ser registros entre reservatórios ou próximos dos pontos de utilização ou até boias para controle de fluxo no reservatório de águas pluviais;
- Utilização.

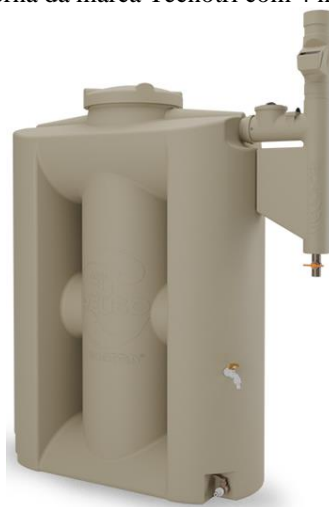
É importante comentar que água da chuva, após passar por todos os sistemas mencionados, seguirá as prescrições da NBR 5626 (ABNT, 2020) a fim de garantir as pressões necessárias nos pontos de utilização. É importante comentar que a NBR 5626 (ABNT, 2020) não recomenda o uso não-potável da água, mesmo sendo submetida ao tratamento.

Figura 5 - Cisterna da marca Fortlev com separador de folhas



(Fonte: FORTLEV, 2019)

Figura 6 - Cisterna da marca Tecnotri com 4 níveis de filtração



(Fonte: TECNOTRI, 2018)

3.6 SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO COM BIODIGESTOR

A prática do lançamento de esgotos diretamente no solo ou em corpos d'água ainda é muito utilizada em cidades que não contêm rede pública. Essa prática pode degradar totalmente o ecossistema com a contaminação do solo, dos rios e do ar, e provocar consequências perigosas para os seres humanos que habitam esses locais. Em vista disso, começou-se a elaborar técnicas de tratar o esgoto de forma individual, primeiramente de forma aeróbia, como os tanques sépticos e lodos ativados aeróbios. Logo se descobriu que o tratamento do esgoto poderia ser feito de forma anaeróbia, utilizando reatores anaeróbios, porém ainda requerendo um pós-tratamento para ser passível de lançamento em corpos hídricos. (CAMPOS, 1999).

3.6.1 Tipos de biodigestores

Macintyre (2010) define os biodigestores como câmaras sem a presença de ar e luminosidade nas quais bactérias anaeróbias realizam a digestão de biomassas e esgotos sanitários, tendo como produto principal a formação do biogás, que é composto por gás metano (CH_4), gás carbônico (CO_2), gás sulfídrico (H_2S), hidrogênio (H_2) e amônia (NH_3). O autor também classifica os biodigestores de acordo com seu sistema de alimentação de matéria orgânica:

- a) Biodigestores de alimentação contínua: como o nome diz, este tipo recebe a matéria orgânica diariamente, e os produtos da digestão (biogás e biofertilizante) também podem ser retirados continuamente;
- b) Biodigestores de alimentação intermitente ou de batelada: é introduzida uma total de carga de matéria orgânica e os produtos da reação são retirados somente no final do

processo, não sendo ideal para instalações pequenas que necessitam do biogás de forma contínua.

3.6.2 Funcionamento do biodigestor

Segundo Campos (1999), o processo de digestão anaeróbia é composto por 4 fases, sendo cada uma delas dependente de uma certa população de bactérias para o seu funcionamento. Tais fases estão descritas abaixo:

- a) Hidrólise: nessa fase, o material orgânico inicialmente injetado é quebrado em compostos de menor peso molecular, implicando no trabalho das exo-enzimas excretadas pelas bactérias fermentativas. Geralmente, este é o processo que limita a velocidade de conversão da matéria orgânica para biogás;
- b) Acidogênese: neste processo, os compostos produzidos na hidrólise são novamente dissolvidos em compostos menores, por bactérias em sua maioria anaeróbias. É nesta fase que são formados o gás carbônico, o gás sulfídrico, o hidrogênio e a amônia;
- c) Acetogênese: nessa fase, os compostos resultantes da acidogênese são transformados em acetatos, hidrogênio e dióxido de carbono, que logo ajudarão a produzir o metano;
- d) Metanogênese: processo em que ocorre a produção do metano (CH_4), principal componente do biogás. O metano é formado 70% da redução do ácido acético pelas bactérias acetotróficas e 30% da redução dióxido de carbono, pelas bactérias hidrogenotróficas.

3.6.3 Aplicações do biogás

O biogás, após gerado pelo biodigestor, pode ser utilizado para aquecimento de água em reservatórios (*boilers*), geração de eletricidade, máquinas de combustão interna, turbinas a gás, entre outras aplicações. Cada uma dessas utilizações requer um nível distinto de qualidade do produto, sendo necessário o uso de diferentes técnicas de descontaminação para cada fim. Outra implicação é a instalação de um sistema de pressurização de gás caso os equipamentos alimentados pelo biogás trabalhem com pressões mínimas para seus funcionamentos (TRICASE e LOMBARDI, 2012).

3.6.4 Tratamento e purificação do biogás

Como citado acima, serão exigidos diferentes tipos de tratamento dependendo da utilização final do biogás. SNSA (2015) comenta os diferentes tratamentos:

- a) Remoção de umidade: a existência de umidade no biogás pode ocasionar desgastes e corrosão nos materiais que o conduzem, sendo possível a sua retirada por 3 tipos de secagem: por condensação (resfriamento), por adsorção (gel de sílica, carvão ativado) ou por absorção (desidratação por glicol). Com a retirada da umidade do biogás, já é possível seu uso em motores de acionamento direto, turbinas e caldeiras;
- b) Dessulfurização: a presença de enxofre no biogás é altamente prejudicial ao meio ambiente e à vida útil dos materiais que conduzem o gás. Isso porque ocorre uma reação no gás entre o sulfeto de hidrogênio (H_2S) e a água (H_2O), produzindo ácido sulfuroso, que quando levado ao meio ambiente provoca as chuvas ácidas. Já o sulfeto de hidrogênio, além de ser tóxico, pode corroer os materiais por onde passa. A retirada do enxofre é feita por processo biológico, físico ou químico, e pode ocorrer por:
- Injeção de ar no digestor: com a injeção de oxigênio, as bactérias oxidam o sulfeto de hidrogênio em enxofre ou ácido sulfuroso;
 - Filtro biológico percolador: o filtro biológico contém bactérias quimio-litotróficas, oxidando os componentes do enxofre em sulfato e outros compostos de enxofre;
 - Dosagem de ferro simultânea: os compostos de ferro, como sais e hidróxido de ferro reagem com o sulfeto de hidrogênio, formando sulfetos não solúveis, que são removidos em conjunto com o biofertilizante;
 - Óxido de ferro: utiliza-se massa de tratamento de gás, que contém o óxido de ferro, o qual reage através de ligação sulfídrica, eliminando o sulfeto de hidrogênio;
 - Adsorção em carvão ativado: o processo deve ocorrer, de preferência, em temperaturas entre 10° e $70^\circ C$ e ocorre por meio de oxidação catalítica na estrutura porosa do carvão, transformando o sulfeto de hidrogênio em enxofre elementar.

Após o processo de dessulfurização, o biogás já pode ser utilizado em cogeração de energia, podendo ser estacionária, portátil ou veicular;

- c) Eliminação do siloxano: o efeito abrasivo do Silício nos motores de combustão a gás pode levar ao encurtamento da vida útil devido a desgaste e danos nos equipamentos. Visando o prolongamento da vida útil, a melhor forma de remover os siloxanos é a adsorção por carvão ativado;

d) Eliminação do gás carbônico: com a retirada do dióxido de carbono do biogás, este alcança um nível de purificação tal que já é possível a sua injeção em rede de gás natural, o uso para combustível veicular e o uso industrial como Gás Natural Comprimido (GNC) e Gás Natural Liquefeito (GNL). Para tanto, os processos de retirada do CO₂ são:

- Adsorção com modulação de pressão: é realizada a alternância da pressão no gás, ocasionando a aderência do gás carbônico na superfície de sólidos como carvão ativado, zeólitos ou peneira molecular de carbono;
- Lavagem com água pressurizada: a inserção de água no biogás faz com que o gás carbônico, bem como outros componentes ácidos e básicos como o ácido sulfuroso e a amônia se liguem à água por ligações físicas (fisissorção), resultantes do aumento da pressão no gás;
- Absorção química com solventes orgânicos: nesse método chamado de quimissorção, utiliza-se uma mistura de água e etanolamina para absorverem os elementos indesejados no gás;
- Absorção física com solventes químicos: utiliza-se um reagente orgânico para absorver as impurezas no gás, as quais são absorvidas por meio do aumento de pressão na coluna de absorção;
- Método de membrana: para maior efusão dos gases contaminantes presentes no biogás, é feito o aumento de pressão. Com isso é possível separar as impurezas do gás de interesse, que é o metano (CH₄).

É importante salientar que existem produtos no mercado, como o Home Biogás, em que, para usos menos nobres como a queima em fogões residenciais, é necessário somente a filtração do biogás para a retirada de odores ruins (HOME BIOGÁS, 2020).

3.7 SISTEMA DE BIODIGESTÃO HOME BIOGÁS

O biodigestor Homebiogás, representado nas Figuras 7 e 8, é um equipamento que realiza a digestão anaeróbia de resíduos orgânicos como restos de comida e esterco, gerando biogás para cozinhar e fertilizante natural para jardins. Recomendado para regiões de clima quente, mas podendo trabalhar com eficiência em temperaturas médias de até 20°C, pode produzir até 3 horas de gás de cozinha por dia, segundo o fabricante, se a inserção de resíduos orgânicos for

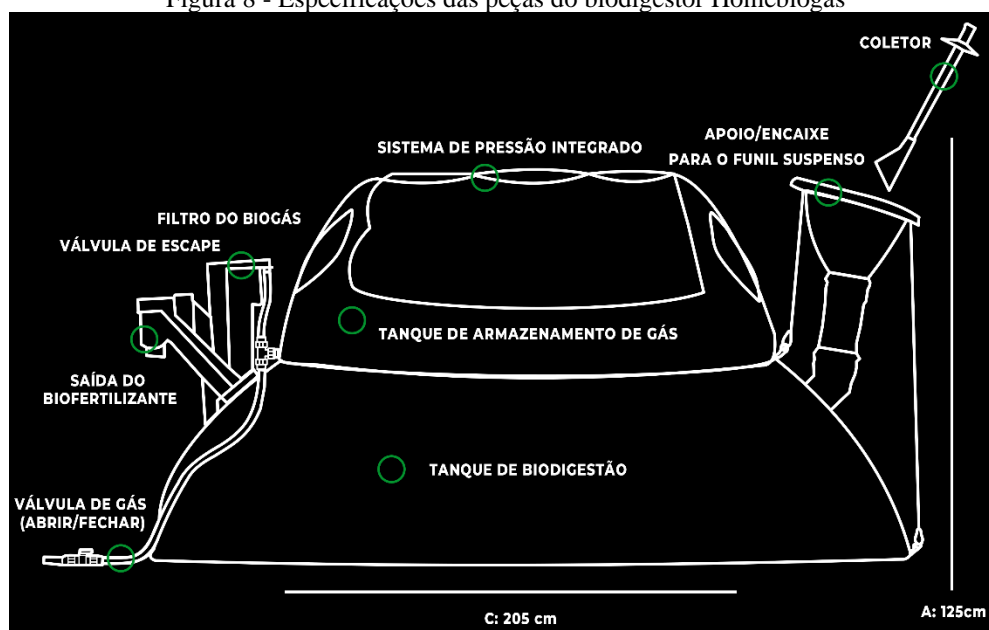
diária. A estimativa de produção de gás é de 700 litros para cada 4 kg de resíduos (HOME BIOGÁS, 2020).

Figura 7 - Biodigestor Homebiogás



(Fonte: HOME BIOGÁS, 2020)

Figura 8 - Especificações das peças do biodigestor Homebiogás



(Fonte: HOME BIOGÁS, 2020)

Em relação à manutenção do equipamento, a HomeBiogás (2020) recomenda a substituição do filtro removedor de sulfato de hidrogênio pelo menos uma vez por ano, bem como a pastilha de cloro, usada para desinfetar as bactérias existentes no biofertilizante. Quanto ao lodo que se acumula ao longo do tempo, o fabricante recomenda a remoção a cada 3 a 5 anos, podendo este ser utilizado em jardins como fertilizante.

A Homebiogás (2020) garante que o biogás será inodoro, e disponibiliza junto com a venda do biodigestor um fogareiro com canalização ligada ao gasômetro do equipamento. Para o despejo

de dejetos humanos, a empresa vende à parte uma bacia sanitária, chamada BioToilet, com ligação direta ao biodigestor, mas pode-se ainda fazer a ligação de bacias sanitárias convencionais através de tubulação de PVC.

3.8 SISTEMA DE REUSO DAS ÁGUAS CINZAS

Veról et al (2019) definem a água cinza como sendo o efluente das peças hidrossanitárias dispostas no banheiro e na área de serviço, podendo ser de chuveiros, lavatórios, tanques e máquinas de lavar roupa.

FIESP (2005, p. 61), em estudos relacionados à caracterização da água cinza proveniente de edifícios residenciais, obteve os seguintes resultados:

- a) Alto teor de matéria orgânica, representado pela DBO₅, o que pode gerar sabor e odor;
- b) Elevado teor de surfactantes, que pode ocasionar a formação de espumas e odor decorrente da decomposição dos mesmos;
- c) Elevada concentração de nitrato, que pela sua toxicidade pode causar metahemoglobinemia infantil, uma doença letal;
- d) Alto teor de fósforo, o que indica a presença de detergentes superfosfatados (compostos por moléculas orgânicas) e matéria fecal; e
- e) Turbidez elevada, que comprova a presença de sólidos em suspensão.

Em vista dessas características da água cinza, são necessários diferentes graus de tratamento, dependendo da finalidade do reuso da água (classes). Esses graus de tratamento, comentados no item 5.6.4 da NBR 13969 (ABNT, 1997), estão descritos abaixo:

- Classe 1: Uso em lavagem de carros e outros usos que requerem contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes. Nesse nível, será geralmente necessário tratamento aeróbio (filtro aeróbio submerso ou Lodo Ativado por Batelada - LAB), seguido por filtração convencional (areia e carvão ativado) e, finalmente, cloração. Pode-se substituir a filtração convencional por membrana filtrante.
- Classe 2: Uso em lavagem de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes. Nesse nível é satisfatório um tratamento biológico aeróbio (filtro aeróbio submerso ou LAB), seguido de filtração de areia e desinfecção. Pode-se também substituir a filtração por membranas filtrantes.
- Classe 3: Reuso nas descargas da bacia sanitária. Normalmente, as águas de enxágue das máquinas de lavar roupas satisfazem a este padrão, sendo necessária apenas uma

cloração. Para casos gerais, um tratamento aeróbio seguido de filtração e desinfecção satisfaz a este padrão.

- Classe 4: Reuso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual. As aplicações devem ser interrompidas pelo menos 10 dias antes da colheita.

A tabela 2 abaixo, preenchida com informações da NBR 13969 (ABNT, 1997), mostra os requisitos de qualidade da água cinza para as diferentes classes de uso:

Tabela 2 - Parâmetros para o reuso de águas cinzas em relação às diferentes classes de uso

Classe	Parâmetro					
	Turbidez	Coliforme fecal	Sólidos dissolvidos totais	pH	Cloro residual	Oxigênio dissolvido
1	<5,0	< 200 NMP/100mL	< 200 mg/L	6,0 – 8,0	0,5 mg/L – 1,5 mg/L	-
2	<5,0	< 500 NMP/100mL	-	-	> 0,5 mg/L	-
3	<10,0	< 500 NMP/100mL	-	-	-	-
4	-	< 5000 NMP/100mL	-	-	-	> 2,0 mg/L

(Fonte: NBR 13969 (ABNT, 1997))

A tabela 3, por outro lado, mostra a porcentagem de remoção dos poluentes em diferentes técnicas de tratamento da água cinza.

Tabela 3 - Faixas prováveis de remoção dos poluentes, conforme o tipo de tratamento, consideradas em conjunto com o tanque séptico (em %)

Processo	Filtro anaeróbio submerso	Filtro aeróbio	Filtro de areia	Vala de filtração	Lodo Ativado por Batelada	Lagoa com plantas
DBO _{5,20}	40 a 75	60 a 95	50 a 85	50 a 80	70 a 95	70 a 90
DQO	40 a 70	50 a 80	40 a 75	40 a 75	60 a 90	70 a 85
Sólidos não filtráveis (em suspensão)	60 a 90	80 a 95	70 a 95	70 a 95	80 a 95	70 a 95
Sólidos sedimentáveis	70 ou mais	90 ou mais	100	100	90 a 100	100
Nitrogênio amoniacal	-	30 a 80	50 a 80	50 a 80	60 a 90	70 a 90
Nitrato	-	30 a 70	30 a 70	30 a 70	30 a 70	50 a 80
Fosfato	20 a 50	30 a 70	30 a 70	30 a 70	50 a 90	70 a 90
Coliformes fecais	-	-	99 ou mais	99,5 ou mais	-	-

(Fonte: NBR 13969 (ABNT, 1997))

Já a tabela 4 demonstra as características dos processos de tratamento, podendo ser feita uma avaliação para a escolha do melhor método de remoção dos poluentes.

Tabela 4 - Algumas características dos processos de tratamento (exclui tanque séptico)

Processo	Filtro anaeróbio	Filtro aeróbio submerso	Filtro de areia	Vala de filtração	LAB	Lagoa com plantas
Área necessária	Reduzida	Reduzida	Média	Média	Média	Média
Operação	Simples	Simples	Simples	Simples	Simples	Simples
Custo operacional	Baixo	Alto	Médio	Baixo	Alto	Baixo
Manutenção	Simples	Simples	Simples	Simples	Mediana complexidade	Simples
Odor/cor no efluente	Sim	Não	Não	Não	Não	Não

(Fonte: NBR 13969 (ABNT, 1997))

3.9 ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS DE REUSO DE ÁGUA E TRATAMENTO DE ESGOTO

Quando se destina uma quantia de capital para determinados bens de consumo, é importante saber se esses bens trarão prejuízos ou lucros para o consumidor, o que representa, respectivamente, risco e retorno. É exatamente isso que Assaf Neto (2020, p.31) descreve quando cita o conceito de Utilidade como sendo aquilo que:

Exprime a satisfação do indivíduo atendida na decisão de investimento (ou de consumo). Assim, diante de diversas alternativas apresentadas, o investidor escolhe sempre aquela que oferece maior utilidade (satisfação) para ele. A Utilidade é como se fosse uma medida quantitativa da satisfação proporcionada por um investimento (ganho).

No caso das instalações hidrossanitárias, é possível escolher entre fazer reuso de águas cinzas e pluviais ou lançá-las nas redes de esgoto cloacal e pluvial respectivamente. O mesmo pode-se fazer com as águas negras, ou lança-se na rede cloacal ou pode-se reaproveitá-las para outros fins como geração de biogás. Ou seja, sempre que se utiliza água potável ou de reuso em uma residência, se terá um subproduto que poderá ser descartado ou reutilizado para fins não potáveis de água ou para geração de energia. Quando reutilizado, trará resultados econômicos positivos. Mas esses sistemas necessitam de investimento inicial, portanto é necessário realizar a análise completa a fim de descobrir se geram lucro no longo prazo.

3.10 IMPORTÂNCIA DA IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS DE REUSO DE ÁGUA E TRATAMENTO DE ESGOTO

A conservação e o reuso de água nas edificações são importantes mecanismos não só em escala micro, mas também em escala macro. É o caso dos sistemas urbanos de abastecimento de água, que consomem em média de 2 a 3% da energia mundial devido, majoritariamente, ao processo de bombeamento. Com os métodos de reuso de água, além da economia de energia para toda a

população, haveria uma diminuição drástica nos vazamentos e outras perdas de água potável, que são recorrentes nos sistemas públicos de abastecimento (GONÇALVES, 2009).

Gonçalves (2009) ainda comenta que, em estudos realizados no Brasil e no exterior, observou-se que os maiores consumos de água estão concentrados nas descargas de bacias sanitárias, nas máquinas de lavar roupas e nos chuveiros. Em outras palavras, tem-se um aparelho consumidor de águas cinzas e/ou pluviais e outros dois geradores de águas cinzas, resultando em uma oferta de água não potável maior que a demanda. Isso vai totalmente ao encontro dos estudos citados por Gonçalves (2009), que mostram que os usos não potáveis residenciais são responsáveis por 40% do consumo total de água, gerando uma economia financeira para os habitantes, bem como uma maior conservação de água na bacia hidrográfica.

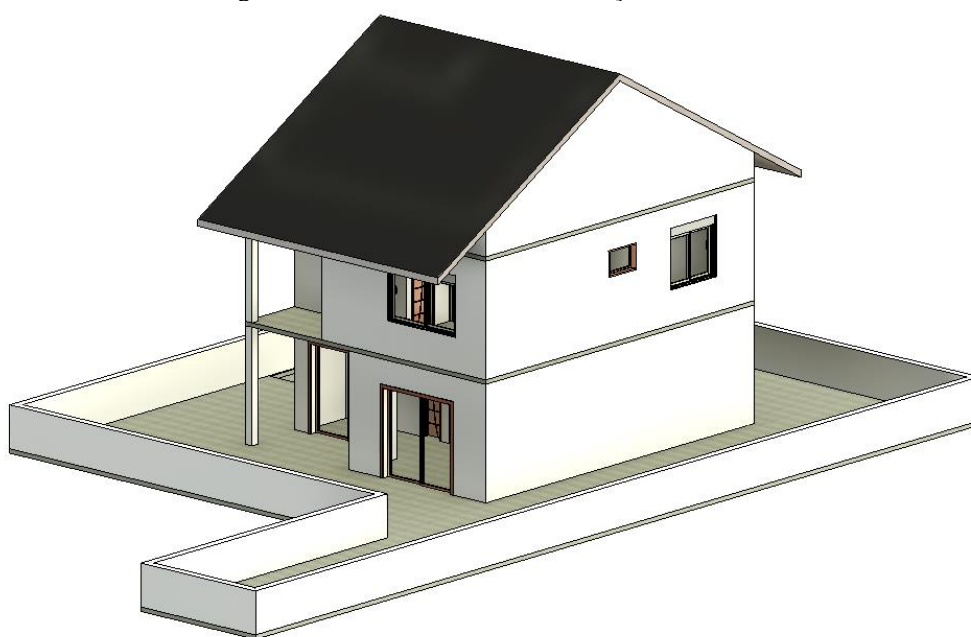
Assim como se tem a opção de reter as águas cinzas e pluviais em uma residência, o mesmo pode-se fazer com o esgoto: ao invés de descarregá-lo de forma errônea em recursos hídricos ou diretamente no solo, ou mesmo de forma correta nas redes públicas ou realizando um pré-tratamento anaeróbio *in loco* para realizar sua infiltração no solo, pode-se conservá-lo e tratá-lo para ser utilizado em outras finalidades como geração de energia.

Tchobanoglous et al (2016) comentam que, quando o esgoto bruto é lançado em locais impróprios, ocorre a produção de gases e maus odores, e o ambiente é contaminado pelos organismos patogênicos, que podem provocar doenças em humanos. Tchobanoglous et al (2016, p.10) também descrevem, por outro lado, que houve uma grande evolução no tratamento de esgotos desde o século XX, sendo este considerado agora uma “fonte renovável e recuperável de energia, de recursos e de água.”

4 METODOLOGIA

Esta metodologia englobará o dimensionamento de todas as redes de água e esgoto, bem como os sistemas sustentáveis adicionais de aquecimento solar de água, reuso de água e tratamento de esgoto para aproveitamento do biogás de uma residência unifamiliar de dois pavimentos no município de Garopaba, estado de Santa Catarina. O sobrado possui abastecimento de água diretamente por poço, sendo a captação da água subterrânea realizada por uma bomba centrífuga já existente, porém, para fins de projeto, será realizado o cálculo de uma nova bomba. A casa, exibida na Figura 9, possui aproximadamente 124,4 metros quadrados de área construída e os ambientes que contêm pontos de água e esgoto são uma cozinha, uma lavanderia e um lavabo no pavimento térreo, e dois banheiros no pavimento superior. Não existe rede de água e de esgoto nas proximidades do terreno.

Figura 9 - Vista isométrica da edificação em estudo



(Fonte: Autoria própria)

4.1 INSTALAÇÕES DE ÁGUA FRIA

O dimensionamento das instalações de água fria inicia pela determinação do consumo diário por habitante, sendo uma estimativa, segundo Carvalho Júnior (2014) de 200 litros/habitante/dia para uma residência de padrão médio. Com esse dado, o próximo passo é calcular a população da residência em estudo a fim de dimensionar o diâmetro do alimentador predial e o volume de água potável a ser reservado para consumo. Posteriormente, é feito o dimensionamento da bomba do sistema elevatório, bem como os diâmetros dos tubos de recalque e distribuição interna.

4.1.1 Dimensionamento do reservatório

O dimensionamento do reservatório de água fria é feito em função da população do local e do consumo *per capita*. O cálculo da população segue os princípios de taxa de ocupação de acordo com o uso do local. Carvalho Júnior (2014) descreve que para residências, adota-se a população de 2 pessoas por dormitório. Também cita que o volume do reservatório recomendado é de dois dias de consumo. Portanto, o consumo diário total da residência, bem como o volume de água a ser reservado, que, segundo o autor, pode ser descrita da seguinte forma, são mostradas, respectivamente, nas equações 1 e 2:

$$C_d = P * q \quad (1)$$

$$CR = 2 * C_d \quad (2)$$

Em que:

C_d : Consumo diário total (litros/dia)

P : População da edificação (habitantes)

q : Consumo *per capita* (litros/habitantes.dia)

CR : Capacidade do reservatório (litros)

4.1.2 Dimensionamento do sistema de recalque

No caso de utilizar captação de água de poço por bombeamento, pode-se dizer que o lençol freático age como um reservatório inferior, fazendo com que o alimentador predial deixe de existir e dê espaço para as tubulações de sucção e recalque.

Segundo Carvalho Júnior (2014), para o dimensionamento das tubulações de recalque, é necessário saber a vazão da bomba utilizada, que será função do tempo do seu funcionamento. O autor afirma que, após definir esse tempo, cujo valor não pode ser superior a 3 horas para residências unifamiliares – segundo o item 6.7.2 da NBR 5626 (ABNT, 2020) –, pode-se calcular a vazão da bomba de recalque dividindo o consumo diário total pelo tempo de funcionamento da bomba, como mostra a equação 3. Posteriormente, os diâmetros de sucção e recalque são calculados por meio da fórmula de Forchheimer, descrita na equação 4 abaixo:

$$Q_{bomba} = \frac{C_d}{T_{func} * 3600} \quad (3)$$

$$D_r = 1,3 * \sqrt{Q_{bomba}} * \sqrt[4]{\frac{T_{func}}{24}} \quad (4)$$

Em que:

Q_{bomba} : Vazão da bomba (m³/s)

C_d : Consumo diário total (m³/dia)

T_{func} : Tempo diário de funcionamento da bomba (horas)

D_r : Diâmetro nominal do tubo de recalque (metros)

De acordo com Carvalho Júnior (2014), para a determinação do diâmetro da tubulação de sucção, adota-se o diâmetro comercial imediatamente superior ao de recalque. Veról et al (2019) recomendam que seja feita a verificação das velocidades do líquido nas tubulações de sucção e recalque utilizando a equação 5, sendo a velocidade máxima recomendada de 3 m/s:

$$v = \frac{Q_{bomba}}{\frac{\pi * D^2}{4}} \quad (5)$$

Em que:

v : velocidade do líquido na tubulação (m/s)

Q_{bomba} : Vazão da bomba (m³/s)

D : Diâmetro interno do tubo de sucção ou recalque (metros)

Para fins de facilitar o fluxo de cálculo, o diâmetro interno dos tubos pode ser calculado previamente para ser inserido na equação 5 pela diferença entre o diâmetro comercial D e o dobro da espessura e das paredes, como constam na tabela 5 abaixo:

Tabela 5 - Dimensões dos tubos soldáveis de água fria

	Dimensões								
Cotas	20	25	32	40	50	60	75	85	110
B	32	32	32	40	50	60	70	77	91
D	20	25	32	40	50	60	75	85	110
e	1,5	1,7	2,1	2,4	3,0	3,3	4,2	4,7	6,1
L	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000

(Fonte: TIGRE, 2013)

Veról et al (2019) comentam que, em edificações residenciais, o tipo de bomba geralmente utilizado para a elevação da água é a centrífuga. Para o cálculo e determinação das características desse tipo de bomba, os autores comentam que é preciso saber a vazão do equipamento, cuja equação está descrita acima com numeração 3 neste trabalho, e a altura

manométrica total, a qual se divide em altura manométrica de sucção e de recalque. Porém, para o cálculo dessas alturas, deve ser subtraída a perda de carga das tubulações de sucção e recalque, a qual é descrita na equação 6 abaixo:

$$J = \frac{8,69 * 10^6 * Q_{bomba}^{1,75}}{D^{4,75}} \quad (6)$$

Em que:

J: Perda de carga unitária em tubos lisos de PVC (kPa/m)

Q_{bomba} : Vazão da bomba (litros/segundo)

D: Diâmetro interno do tubo de sucção ou recalque (mm)

Com os comprimentos reais dos tubos de sucção e recalque e o conhecimento das conexões empregadas, pode-se calcular a altura dinâmica (perda de carga) das tubulações, cujos valores serão subtraídos da altura estática, resultando na altura manométrica, conforme equação 7, modificada de Veról et al (2019):

$$H_{man} = H_S + H_R + J_{sucção} * (L_{Sreal} + L_{Sequivalente}) + J_{recalque} * (L_{Rreal} + L_{Requivalente}) \quad (7)$$

Em que:

H_{man} : Altura manométrica total da instalação de sucção e recalque (m.c.a.)

H_S : Altura geométrica (vertical) de sucção (m.c.a.)

H_R : Altura geométrica (vertical) de recalque (m.c.a.)

$J_{sucção}$: Perda de carga unitária do trecho de sucção (m/m)

L_{Sreal} : Comprimento real da tubulação de sucção (metros)

$L_{Sequivalente}$: Comprimento equivalente de todas as conexões somadas do trecho de sucção, encontrado na tabela do anexo A

$J_{recalque}$: Perda de carga unitária do trecho de recalque (m/m)

L_{Rreal} : Comprimento real da tubulação de recalque (metros)

$L_{Requivalente}$: Comprimento equivalente de todas as conexões somadas do trecho de recalque, encontrado na tabela do anexo A

Com as informações citadas acima, pode-se calcular a potência do equipamento com a equação 8 descrita por Veról et al (2019) abaixo:

$$P = \frac{\gamma * Q_{bomba} * H_{man}}{75 * \eta} \quad (8)$$

Em que:

P: Potência da bomba (CV)

γ : Peso específico do líquido (kg/m³)

Q_{bomba} : Vazão da bomba (m³/s)

H_{man} : Altura manométrica total da instalação (metros)

η : Rendimento total da bomba

É importante salientar que, após o cálculo da potência da bomba, Veról et al (2019) recomendam que se majore a potência calculada dependendo do valor encontrado, conforme tabela 6 abaixo:

Tabela 6 - Acréscimos de potências nas bombas sobre o valor calculado

Potência calculada (CV)	Acréscimo (%)
Até 2	50
2 a 5	30
5 a 10	20
10 a 20	15
20	10

(Fonte: VEROL et al, 2019)

4.1.3 Dimensionamento das tubulações de distribuição interna

No dimensionamento das tubulações de distribuição interna, Carvalho Júnior (2014) comenta que, após a definição no projeto arquitetônico da quantidade de peças de utilização, os principais parâmetros que precisam ser definidos são a vazão destas, a velocidade, a perda de carga e a pressão. A vazão é um dado tabelado que varia em função dos consumos nas peças hidrossanitárias. Para a velocidade, é feita uma verificação de valor máximo, feita pela razão entre a vazão tabelada e a área do tubo, devendo esta resultar menor que 3 m/s.

Quanto ao consumo nos pontos de utilização, Carvalho Júnior (2014) cita dois métodos diferentes, descritos abaixo:

- a) Método do consumo máximo possível: Considera-se todas as peças de um ramal funcionando simultaneamente. Isso ocorre geralmente em edificações não residenciais, como hotéis e escolas, onde há repetição de peças, principalmente lavatórios e chuveiros. O cálculo é feito tendo-se como base o diâmetro de 20 mm para cada peça, com início na peça mais longe, e acumulando-se os diâmetros equivalentes aos tubos de

20 mm até a peça mais próxima à coluna. Com isso, é possível encontrar os diâmetros de tubo para todos os trechos da instalação;

- b) Método do consumo máximo provável: Diferente do método descrito acima, este prevê a simultaneidade do uso somente de algumas peças. Para isso, são considerados pesos relativos a cada peça, os quais são tabelados e usados para encontrar a vazão nos trechos de tubulação com a equação 9 abaixo:

$$Q_{est} = 0,3 * \sqrt{\Sigma P} \quad (9)$$

Em que:

Q_{est} : Vazão estimada no trecho de tubulação considerado (L/s)

ΣP : Somatório dos pesos no trecho de tubulação considerado

No método do consumo máximo provável, fazendo o somatório de pesos ou as vazões nos trechos os quais são representados na tabela 8, pode-se utilizar o nomograma de pesos, vazões e diâmetros citado por Carvalho Júnior (2014) e encontrado no anexo C deste trabalho para fazer o pré-dimensionamento do tubo do trecho em questão, respeitando os diâmetros mínimos dos sub-ramais exibidos na tabela 7.

Tabela 7 - Diâmetros mínimos dos sub-ramais

Peças de utilização	Diâmetro	
	DN (mm)	Ref. (pol.)
Aquecedor de alta pressão	20	1/2
Aquecedor de baixa pressão	25	3/4
Banheira	20	1/2
Bebedouro	20	1/2
Bidê	20	1/2
Caixa de descarga	20	1/2
Chuveiro	20	1/2
Filtro de pressão	20	1/2
Lavatório	20	1/2
Máquina de lavar pratos ou roupas	25	3/4
Mictório Autoaspirante	32	1
Mictório não aspirante	20	1/2
Pia de cozinha	20	1/2
Tanque de despejo ou de lavar roupas	25	3/4
Válvula de descarga	40	1 1/4

(Fonte: CARVALHO JÚNIOR, 2014)

Tabela 8 - Pesos relativos nos pontos de utilização, identificados em função do aparelho sanitário e da peça de utilização

Aparelho sanitário	Peça de utilização	Vazão de projeto (litros/s)	Peso relativo	
Bacia sanitária	Caixa de descarga	0,15	0,3	
	Válvula de descarga	1,7	32	
Banheira	Misturador (água fria)	0,3	1	
Bebedouro	Registro de pressão	0,1	0,1	
Bidê	Misturador (água fria)	0,1	0,1	
Chuveiro ou ducha	Misturador (água fria)	0,2	0,4	
Chuveiro elétrico	Registro de pressão	0,1	0,1	
Lavadora de pratos ou de roupas	Registro de pressão	0,3	1	
Lavatório	Torneira ou misturador (água fria)	0,15	0,3	
Mictório cerâmico	Com sifão integrado	Válvula de descarga	0,5	2,8
	Sem sifão integrado	Caixa de descarga, registro de pressão ou válvula de descarga para mictório	0,15	0,3
Mictório tipo calha	Caixa de descarga ou registro de pressão	0,15 por metro de calha	0,3	
Pia	Torneira ou misturador (água fria)	0,25	0,7	
	Torneira elétrica	0,1	0,1	
Tanque	Torneira	0,25	0,7	
Torneira de jardim ou lavagem em geral	Torneira	0,2	0,4	

(Fonte: CARVALHO JÚNIOR, 2014)

O próximo passo é calcular as perdas de cargas ocorridas nos trechos de tubulação e seus acessórios. Macintyre (2010) comenta que as perdas de carga podem ser entendidas como perdas de energia do líquido que escoam dentro da tubulação, justificadas nos tubos pelo atrito das paredes do tubo devido à rugosidade do material, e nas conexões devido à turbulência causada pelas mudanças de direção, o que gera perdas de energia localizadas.

Macintyre (2010) ainda comenta que Darcy e Weisbach deduziram a equação da perda de carga para qualquer líquido, que conta com o fator de atrito e a viscosidade variáveis entre os diferentes materiais, a depender do regime de escoamento do líquido. Posteriormente, Fair-Whipple-Hsiao, a partir das equações de Darcy e Weisbach, introduziram novas variáveis e coeficientes para fatores empíricos como a qualidade do material e sua idade, chegando à equação 10, comumente utilizada para a definição das perdas de carga das tubulações de água fria em PVC, a qual é descrita abaixo:

$$J = \frac{8,69 * 10^6 * Q_{est}^{1,75}}{d_{int}^{4,75}} \quad (10)$$

Em que:

J: perda de carga linear na tubulação (kPa/m)

Q_{est} : Vazão estimada no trecho de tubulação considerado (L/s)

d_{int} : diâmetro interno do tubo (mm)

As perdas de carga linear total do trecho resultam do produto entre o comprimento total de tubo e a perda de carga linear por metro de tubulação. É importante esclarecer que novos trechos são formados a cada ramificação na tubulação ou mudança de diâmetro.

As perdas de carga localizadas ocorrem nas conexões, registros e válvulas, e podem ser calculadas por meio de equação na qual a perda de carga é função de um coeficiente denominado K, que varia para cada tipo de peça, da velocidade do escoamento e da aceleração da gravidade. Porém, a forma mais comum para determinar essas perdas de carga é utilizando o método dos comprimentos equivalentes ou virtuais, que consiste em encontrar, em uma tabela, comprimentos de tubo de mesmo diâmetro das conexões ou peças que, se calculada a perda de carga linear destas, equivaleria ao mesmo valor de perda de carga calculado pelo primeiro método citado (MACINTYRE, 2010). Essas tabelas podem ser encontradas no anexo A deste trabalho.

Após calcular as perdas de carga, deve-se verificar a pressão dinâmica residual nos pontos de utilização, subtraindo-se a pressão estática (altura geométrica) da perda de carga total calculada (linear + localizada). Isso resulta em uma pressão residual, cujo valor deve ser maior que a pressão de serviço para o equipamento em questão (CARVALHO JÚNIOR, 2014).

É importante salientar que a NBR 5626 (ABNT, 2020) faz diversas determinações quanto às pressões na instalação de água fria, as quais estão descritas abaixo:

- A pressão dinâmica mínima em qualquer ponto de utilização é de 10 kPa (1 m.c.a.);
- A pressão dinâmica mínima em qualquer ponto da instalação é de 5 kPa (0,5 m.c.a.), com exceção dos trechos verticais de barriletes;
- A pressão estática máxima, isto é, sem escoamento, deve ser de 400 kPa (40 m.c.a.) em qualquer ponto de utilização;

- A pressão dinâmica máxima, isto é, com escoamento, deve ser de 200 kPa (20 m.c.a.) em qualquer ponto da instalação.

4.2 INSTALAÇÕES DE ÁGUA QUENTE

O dimensionamento das instalações de água quente segue o mesmo propósito das instalações de água fria, com variações no material, no consumo, e com o adicional de cálculo dos aquecedores de água utilizados.

4.2.1 Consumo de água quente

Visando dimensionar aquecedores e reservatórios de água quente, é necessário obter dados de estimativas de consumo de cada local. Esse consumo varia dependendo da finalidade da edificação e do clima da região, mas Carvalho Júnior (2014) descreve que, para os diferentes tipos de aquecedores em residências, o consumo varia de 40 a 50 litros por pessoa a cada dia.

4.2.2 Dimensionamento do aquecedor de passagem a gás

O dimensionamento do aquecedor de passagem a gás é um processo simples, no qual é necessário conhecer somente quantos pontos de água quente serão atendidos pelo equipamento, e a vazão de cada ponto de água. Com esses dados, faz-se a soma da vazão de todos os pontos, obtendo uma vazão total da qual é retirada a metade para o dimensionamento, já que ocorrerá a mistura de água fria e água quente no aquecedor (CARVALHO JÚNIOR, 2014).

4.2.3 Dimensionamento do aquecedor solar

Diferentemente do aquecedor de passagem acima, o aquecimento solar é feito em função da população do local e dos pontos de consumo, visto que é um tipo que engloba a reservação da água. Isso sugere a necessidade da estimativa de consumo, que, de acordo com Carvalho Júnior (2014), para os aquecedores solares, é de 50 litros por pessoa a cada dia, devendo-se, porém, considerar pias de cozinha e banheiras à parte. Caso exista alguma dessas peças na instalação, considera-se para pias de cozinha o consumo diário de 50 litros. Já para as banheiras, o consumo diário é a metade de seu volume.

Quanto aos coletores solares, Carvalho Júnior (2014) comenta que se estima a área de 1 m² para cada 50 litros de água a ser aquecida. O autor também afirma que, se for necessário aumentar o volume de água disponível, a providência mais comum a se tomar é aumentar o número de placas e, conseqüentemente, a área de coletores solares. A definição do número de placas

solares é feita após o cálculo do consumo total de água quente da edificação, adotando-se 2 m² de coletor solar para cada 100 litros de água a aquecer.

4.2.4 Dimensionamento das tubulações de distribuição

As tubulações de água quente são dimensionadas de forma análoga à água fria, com a divisão em trechos de tubulação e cálculo dos pesos, vazão, diâmetro, perda de carga e pressão disponível para cada trecho (CARVALHO JÚNIOR, 2014).

Como a água quente necessita materiais resistentes a altas temperaturas, as variáveis que dependem de características dos materiais terão valores diferentes da água fria. Isso ocorre com o cálculo da perda de carga para os tubos de CPVC, utilizados para conduzir a água quente, cuja equação 11, citada pela Tigre (2016), está descrita abaixo:

$$J = \frac{10,643 * Q_{est}^{1,85}}{C^{1,85} * d_{int}^{4,87}} \quad (11)$$

Em que:

J: perda de carga linear na tubulação (m/m)

Q_{est}: Vazão estimada no trecho de tubulação considerado (m³/s)

C: 150

d_{int}: diâmetro interno do tubo (m)

Salienta-se que os tubos de CPVC têm diâmetros internos diferentes dos tubos de PVC para a água fria, e que esse material para os tubos de água quente é resistente às altas temperaturas, com reduzidas perdas de calor ao longo do comprimento devido à baixa condutividade térmica. Suas dimensões estão descritas na tabela 9, sendo que o cálculo do diâmetro interno é feito pela subtração entre o *DE* e o dobro a espessura da parede *e* (TIGRE, 2016).

Tabela 9 - Dimensões dos tubos Aquatherm

Cotas	DN 15	DN 22	DN 28	DN 35	DN 42	DN 54	DN 73	DN 89	DN 114
DE	15	22	28	34,9	41,3	54	73	88,9	114,3
e	1,6	2,0	2,5	3,2	3,8	4,9	6,5	7,9	10,2
L	3000	3000	3000		3000	3000	3000	3000	3000

(Fonte: TIGRE, 2016)

Após o cálculo da perda de carga nos trechos de tubo de CPVC, segue-se os mesmos passos de dimensionamento da água fria, calculando as pressões estáticas e subtraindo-se as perdas de carga calculadas para encontrar a pressão dinâmica disponível. As recomendações de pressões

mínimas e máximas se mantêm equivalentes para a água quente (CARVALHO JÚNIOR, 2014).

4.3 INSTALAÇÕES DE ESGOTO SANITÁRIO

As tubulações de esgoto sanitário são dimensionadas pelo método das unidades Hunter de contribuição (UHC). Esse método é traduzido por um número tabelado de UHC para cada aparelho sanitário, com diâmetros calculados conforme o número de contribuições do trecho. A NBR 8160 (ABNT, 1999) apresenta o número de unidades Hunter de contribuição para cada peça hidrossanitária, demonstradas na tabela 10 abaixo:

Tabela 10 - Unidades de Hunter de contribuição dos aparelhos sanitários e diâmetro nominal mínimo dos ramais de descarga

Aparelho Sanitário		Número de unidades Hunter de contribuição	Diâmetro nominal mínimo do ramal de descarga
Bacia sanitária		6	100
Banheira de residência		2	40
Bebedouro		0,5	40
Bidê		1	40
Chuveiro	De residência	2	40
	Coletivo	4	40
Lavatório	De residência	1	40
	De uso geral	2	40
Mictório	Válvula de descarga	6	75
	Caixa de descarga	5	50
	Descarga automática	2	40
	De calha	2	50
Pia de cozinha residencial		3	50
Pia de cozinha industrial	Preparação	3	50
	Lavagem de painéis	4	50
Tanque de lavar roupas		3	40
Máquina de lavar louças		2	50
Máquina de lavar roupas		3	50

(Fonte: NBR 8160 (ABNT, 1999))

A NBR 8160 (ABNT, 1999) destaca que ao traçar os trechos de tubulação com diâmetro nominal menor ou igual a 75 mm, recomenda-se utilizar declividade de 2%, e com diâmetro nominal maior ou igual a 100 mm, recomenda-se a declividade de 1%. Outro ponto é que a mudança de direção na horizontal deve ser feita obrigatoriamente em 45°, podendo, nas mudanças de direção na vertical, se utilizar conexões em 90°.

4.3.1 Dimensionamento de dispositivos complementares

A NBR 8160 (ABNT, 1999) determina os diâmetros nominais mínimos em milímetros para as caixas sifonadas de acordo com o número de unidades Hunter de contribuição dos aparelhos sanitários. São estes:

- DN 100 para até 6 UHC;
- DN 125 para até 10 UHC;
- DN 150 para até 15 UHC.

Em relação a caixas de passagem para junção de tubulações, a NBR 8160 (ABNT, 1999) prescreve sua colocação com dimensão mínima em planta de 0,15 metro, e altura mínima de 0,1 metro.

A NBR 8160 (ABNT, 1999) ainda determina que o dimensionamento do ramal de descarga da caixa sifonada deve ser realizado conforme a tabela 11 abaixo:

Tabela 11 - Unidades de Hunter de contribuição para aparelhos não relacionados na tabela 10

Diâmetro nominal mínimo do ramal de descarga (DN)	Número de unidades Hunter de contribuição (UHC)
40	2
50	3
75	5
100	6

(Fonte: NBR 8160 (ABNT, 1999))

As caixas de inspeção têm função de permitir visitas de inspeção e manutenções nas tubulações e de realizar mudanças de direção no traçado. A NBR 8160 (ABNT, 1999) impõe algumas restrições em relação a esses aparelhos, as quais estão descritas abaixo:

- Distância máxima de 25 metros entre dois dispositivos de inspeção;
- Distância máxima de 15 metros entre a última caixa de inspeção da saída do prédio e a ligação na rede pública;
- Comprimento máximo de 10 metros dos trechos de ramais de descarga e de esgoto de bacias sanitárias até o aparelho de inspeção.

Quanto ao dimensionamento desses dispositivos de inspeção, a NBR 8160 (ABNT, 1999) determina que, caso tenham forma prismática, o lado interno mínimo deve ser de 60 centímetros, e caso sejam cilíndricos, o diâmetro mínimo deve ser também de 60 centímetros. A profundidade máxima recomendada é de 1 metro.

4.3.2 Dimensionamento dos ramais de esgoto

A NBR 8160 (ABNT, 1999) explicita que para o dimensionamento dos ramais de esgoto, deve ser utilizada a tabela 12, somando-se as contribuições dos trechos de montante à jusante.

Tabela 12 - Dimensionamento dos ramais de esgoto

Diâmetro nominal mínimo do tubo (DN)	Número máximo de unidades Hunter de contribuição (UHC)
40	3
50	6
75	20
100	160

(Fonte: NBR 8160 (ABNT, 1999))

4.3.3 Dimensionamento dos tubos de queda

Os tubos de queda são condutores verticais de águas residuais, para os quais a NBR 8160 (ABNT, 1999) expõe o dimensionamento, conforme a quantidade de UHC à montante do ponto calculado. Os diâmetros são determinados de acordo com a tabela 13 abaixo:

Tabela 13 - Dimensionamento de tubos de queda

Diâmetro nominal do tubo (DN)	Número máximo de unidades Hunter de contribuição	
	Prédio de até três pavimentos	Prédio com mais de três pavimentos
40	4	8
50	10	24
75	30	70
100	240	500
150	960	1900
200	2200	3600
250	3800	5600
300	6000	8400

(Fonte: NBR 8160 (ABNT, 1999))

4.3.4 Dimensionamento do subcoletor e coletor predial

A NBR 8160 (ABNT, 1999) define o subcoletor como a primeira tubulação horizontal à jusante do tubo de queda. Já o coletor predial é definido pela tubulação localizada à jusante do subcoletor e à montante da ligação de esgoto com a rede pública, ou como a última tubulação antes de os efluentes se localizarem fora da edificação. O dimensionamento do subcoletor e do coletor predial é apresentado na tabela 14 abaixo:

Tabela 14 - Dimensionamento de subcoletores e coletor predial

Diâmetro nominal do tubo (DN)	Número máximo de unidades Hunter de contribuição em função das declividades mínimas %			
	0,5	1	2	4
100	-	180	216	250
150	-	700	840	1000
200	1400	1600	1920	2300
250	2500	2900	3500	4200
300	3900	4600	5600	6700
400	7000	8300	10000	12000

(Fonte: NBR 8160 (ABNT, 1999))

É importante mencionar que a NBR 8160 (ABNT, 1999) prescreve que as tubulações de subcoletor e coletor predial não devem ter diâmetro nominal inferior a 100 milímetros.

4.3.5 Dimensionamento dos ramais de ventilação

Os ramais de ventilação são tubulações que ligam os ramais de descarga ou de esgoto com a coluna de ventilação. É importante mencionar que a ligação do ramal de ventilação no ramal de descarga ou de esgoto deve ser feita com ângulo de 0° ou 45° em relação ao eixo vertical, a fim de impedir a entrada de efluentes no sistema de ventilação, bem como o trecho horizontal do ramal ter inclinação em aclave de 1%, e o trecho horizontal ligar na coluna de ventilação 15 centímetros acima do nível de transbordamento dos aparelhos sanitários (CARVALHO JÚNIOR, 2014).

A NBR 8160 (ABNT, 1999) também determina distâncias mínimas e máximas da ligação do ramal de ventilação em relação a um desconector. A distância mínima é de duas vezes o diâmetro do ramal de descarga. Já a distância máxima é dada em função do diâmetro nominal do ramal de descarga, e está disposta na tabela 15 abaixo:

Tabela 15 - Distância máxima de um desconector ao tubo ventilador

Diâmetro nominal do ramal de descarga (DN)	Distância máxima (metros)
40	1,00
50	1,20
75	1,80
100	2,40

(Fonte: NBR 8160 (ABNT, 1999))

Destaca-se que, para o traçado dos trechos horizontais do ramal de ventilação, diferentemente do traçado do esgoto sanitário, a NBR 8160 (ABNT, 1999) permite utilizar ângulos de até 90° para mudanças de direção.

O dimensionamento dos ramais de ventilação descrito pela NBR 8160 (ABNT, 1999) está disposto na tabela 16 abaixo:

Tabela 16 - Dimensionamento de ramais de ventilação

Grupos de aparelhos sem bacias sanitárias		Grupos de aparelhos com bacias sanitárias	
Número de unidades Hunter de contribuição	Diâmetro nominal do ramal de ventilação	Número de unidades Hunter de contribuição	Diâmetro nominal do ramal de ventilação
Até 12	40	Até 17	50
13 a 18	50	18 a 60	75
19 a 36	75	-	-

(Fonte: NBR 8160 (ABNT, 1999))

4.3.6 Dimensionamento das colunas de ventilação

Em relação ao traçado e locação das colunas de ventilação, a NBR 8160 (ABNT, 1999) estabelece o fechamento da extremidade superior do tubo com um terminal de ventilação e alturas mínimas de acordo com a função da cobertura da edificação para impedir a entrada de águas pluviais no sistema de ventilação e esgoto. São estas:

- 0,30 metro acima de coberturas que contenham telhados;
- 0,30 metro acima de coberturas em laje impermeabilizada;
- 2,00 metros acima de terraços.

A tabela 17 mostra como é realizado o dimensionamento das colunas de ventilação em função do diâmetro nominal do tubo de queda ou ramal de esgoto e do comprimento máximo permitido da coluna de ventilação, segundo a NBR 8160 (ABNT, 1999):

Tabela 17 - Dimensionamento de colunas e barriletes de ventilação

Diâmetro nominal do tubo de queda ou ramal de esgoto (DN)	Número de unidades Hunter de contribuição	Diâmetro nominal do tubo de ventilação							
		40	50	75	100	150	200	250	300
Comprimento permitido (metros)									
40	8	46	-	-	-	-	-	-	-
40	10	30	-	-	-	-	-	-	-
50	12	26	61	-	-	-	-	-	-
50	20	15	46	-	-	-	-	-	-
75	10	13	46	317	-	-	-	-	-
75	21	10	33	247	-	-	-	-	-
75	53	8	29	207	-	-	-	-	-
75	102	8	26	189	-	-	-	-	-
100	43	-	11	76	299	-	-	-	-
100	140	-	8	61	229	-	-	-	-
100	320	-	7	52	195	-	-	-	-
100	530	-	6	46	177	-	-	-	-
150	500	-	-	10	40	305	-	-	-
150	1100	-	-	8	31	238	-	-	-
150	2000	-	-	7	26	201	-	-	-
150	2900	-	-	6	23	183	-	-	-
200	1800	-	-	-	10	73	286	-	-
200	3400	-	-	-	7	57	219	-	-
200	5600	-	-	-	6	49	186	-	-
200	7600	-	-	-	5	43	171	-	-
250	4000	-	-	-	-	24	94	293	-
250	7200	-	-	-	-	18	73	225	-
250	11000	-	-	-	-	16	60	192	-
250	15000	-	-	-	-	14	55	174	-
300	7300	-	-	-	-	9	37	116	287
300	13000	-	-	-	-	7	29	90	219
300	20000	-	-	-	-	6	24	76	186
300	26000	-	-	-	-	5	22	70	152

(Fonte: NBR 8160 (ABNT, 1999))

4.4 INSTALAÇÕES DE ÁGUAS PLUVIAIS

Veról et al (2019) descrevem que as etapas do dimensionamento das instalações de águas pluviais começam pela cobertura, identificando as possíveis áreas de contribuição, que podem ser telhados ou lajes impermeabilizadas. Deve-se posicionar os ralos hemisféricos nas calhas

e/ou lajes, definindo assim a área de contribuição que vai para cada um desses pontos. Sabendo os valores de intensidade pluviométrica, os quais são fixos por cidade e por tempo de retorno de chuva e estão expostos na tabela 18, e a área de contribuição, pode-se calcular a vazão de projeto, que pode ser entendida como a vazão máxima que escoar da chuva sobre as áreas de contribuição.

Tabela 18 - Chuvas intensas no Brasil (duração - 5 minutos)

Local	Intensidade pluviométrica (mm/h)		
	Período de retorno (anos)		
	1	5	25
Belém/PA	138	157	185 (20)
Belo Horizonte/MG	132	227	230 (12)
Curitiba/PR	132	204	228
Florianópolis/SC	114	120	144
Fortaleza/CE	120	156	180 (21)
Goiânia/GO	120	178	192 (17)
Maceió/AL	102	122	174
Manaus/AM	138	180	198
Natal/RN	113	120	143 (19)
Porto Alegre/RS	118	146	167 (21)
Porto Velho/RO	130	167	184 (10)
Rio Branco/AC	126	139 (2)	-
Rio de Janeiro/RJ (Ipanema)	119	125	160 (15)
Salvador/BA	108	122	145 (24)
São Paulo/SP (Congonhas)	122	132	-
Teresina/PI	154	240	262 (23)
Vitória/ES	102	156	210

(Fonte: NBR 10844 (ABNT, 1989))

A NBR 10844 (ABNT, 1989) define a vazão de projeto segundo a equação 12 abaixo:

$$Q = \frac{I * A}{60} \quad (12)$$

Em que:

Q: Vazão de projeto (L/min)

I: Intensidade pluviométrica (mm/h)

A: Área de contribuição (m²)

4.4.1 Dimensionamento das calhas e condutores horizontais

As calhas podem ser feitas de diversos materiais, tamanhos, seções e inclinações e podem ser de beiral ou de platibanda. Carvalho Júnior (2014) recomenda que essas características sejam definidas anteriormente ao dimensionamento, geralmente levando em conta a arquitetura da edificação e a dificuldade dos materiais de escoarem a água pluvial.

A NBR 10844 (ABNT, 1989) descreve que o dimensionamento das calhas e outros condutores horizontais é feito pela equação de Manning-Strickler. A NBR 10844 (ABNT, 1989) determina que para os condutores horizontais em seção circular fechada (tubos), a altura máxima da lâmina d'água é de 2/3 do diâmetro interno do tubo. Porém, para as calhas, que têm escoamento à superfície livre, não é especificado nenhuma lâmina d'água máxima. Essas determinações implicam no cálculo do raio hidráulico, o qual é definido por Macintyre (2010) como a razão entre a área molhada e o perímetro molhado. O autor define os raios hidráulicos também por meio de equações para condutores horizontais de seção semicircular e retangular, as quais estão modificadas para fins de facilitar o cálculo e descritas nas equações 13 e 14 respectivamente:

$$R_{HS} = \frac{D_{int}}{4} \quad (13)$$

$$R_{HR} = \frac{b * h}{b + (2 * h)} \quad (14)$$

Em que:

R_{HS} : Raio hidráulico para seções semicirculares (m)

D_{int} : Diâmetro interno da seção semicircular (m)

R_{HR} : Raio hidráulico para seções retangulares (m)

b: Comprimento da base da seção retangular (m)

h: Altura da lâmina d'água na seção retangular (m)

Veról et al (2019), ao discutir a problemática do dimensionamento por meio do método de Manning-Strickler, o qual contém duas incógnitas para uma única equação, trazem as possíveis soluções para a determinação das incógnitas com a adoção maior raio hidráulico possível. Ou seja, do menor perímetro molhado possível, o que tende a ser mais eficiente, pois diminui o atrito no ato do escoamento da água. Os autores descrevem que o menor perímetro molhado possível é aquele que, em calhas de seção retangular, tem a altura da lâmina d'água sendo a metade da medida da base, e nas seções semicirculares, tem a altura da lâmina d'água igual à metade do diâmetro interno. Com isso, pode-se modificar mais uma vez as fórmulas 13 e 14 de raio hidráulico acima, para resultar em uma expressão que já leva em consideração a seção mais eficiente. Essas expressões estão descritas abaixo, numeradas como 15 e 16:

$$R_{HS} = \frac{D_{int}}{4} \quad (15)$$

$$R_{HR} = \frac{h}{2} = \frac{b}{4} \quad (16)$$

Em que:

R_{HS} : Raio hidráulico para seções semicirculares (m)

D_{int} : Diâmetro interno da seção semicircular (m)

R_{HR} : Raio hidráulico para seções retangulares (m)

b : Comprimento da base da seção retangular (m)

h : Altura da lâmina d'água na seção retangular (m)

Para o cálculo do método de Manning-Strickler ainda é necessário saber alguns coeficientes que dependem das características construtivas da calha e do seu material, os quais são citados pela NBR 10844 (ABNT, 1989). Estes coeficientes estão expostos nas tabelas 19 e 20 abaixo:

Tabela 19 - Coeficientes multiplicativos da vazão de projeto

Tipo de curva	Curva a menos de 2 metros da saída da calha	Curva entre 2 e 4 metros da saída da calha
Canto reto	1,2	1,1
Canto arredondado	1,1	1,05

(Fonte: NBR 10844 (ABNT, 1989))

Tabela 20 - Coeficientes de rugosidade

Material	n
Plástico, fibrocimento, aço e metais não-ferrosos	0,011
Ferro fundido, concreto alisado, alvenaria revestida	0,012
Cerâmica, concreto não-alisado	0,013
Alvenaria de tijolos não-revestida	0,015

(Fonte: NBR 10844 (ABNT, 1989))

Com esses dados, portanto, é possível calcular a vazão de projeto da calha pela equação de Manning-Strickler, cujo valor deve ser maior que a vazão de projeto disposta na equação 12 calculada em função da intensidade de chuva e da área de contribuição. O método de Manning-Strickler está disposto na equação 17 abaixo:

$$Q = \frac{K * S * R_H^{\frac{2}{3}} * i^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (17)$$

Em que:

Q : Vazão de projeto do condutor horizontal (L/min)

S : Área da seção molhada (m²)

n : Coeficiente de rugosidade, conforme tabela 20

R_H : Raio hidráulico (m)

i : Declividade do condutor horizontal (m/m)

K : 60.000

Quanto aos condutores horizontais de seção fechada, a NBR 10844 (ABNT, 1989) determina, como já comentado acima, que devem ter altura de lâmina d'água em no máximo 2/3 do diâmetro interno do tubo. Com isso, pode-se utilizar a equação de Manning-Stricker acima para calcular as vazões que os tubos são capazes de conduzir, ou buscar valores de vazão já calculados e tabelados para as diferentes rugosidades de material e declividades, que estão dispostos na tabela 21. A NBR 10844 (ABNT, 1989) destaca que a declividade mínima para condutores horizontais de águas pluviais é de 0,5%.

Tabela 21 - Capacidade de condutores horizontais de seção circular (L/min.)

Diâmetro interno (mm)	n = 0,011				n = 0,012				n = 0,013			
	0,5%	1%	2%	4%	0,5%	1%	2%	4%	0,5%	1%	2%	4%
50	32	45	64	90	29	41	59	83	27	38	54	76
75	95	133	188	267	87	122	172	245	80	113	159	226
100	204	287	405	575	187	264	372	527	173	243	343	486
125	370	521	735	1040	339	478	674	956	313	441	622	882
150	602	847	1190	1690	552	777	1100	1550	509	717	1010	1430
200	1300	1820	2570	3650	1190	1670	2360	3350	1100	1540	2180	3040
250	2350	3310	4660	6620	2150	3030	4280	6070	1990	2800	3950	5600
300	3820	5380	7590	10800	3500	4930	6960	9870	3230	4550	6420	9110

(Fonte: NBR 10844 (ABNT, 1989))

4.4.2 Dimensionamento dos condutores verticais

Segundo Veról et al (2019), para o dimensionamento dos condutores verticais, deve-se definir de antemão alguns parâmetros necessários para o cálculo. São estes:

- Ligação da calha no condutor vertical em funil ou em aresta viva;
- Número de condutores verticais em cada calha.

A NBR 10844 (ABNT, 1989) disponibiliza dois ábacos que variam em função do tipo de ligação da calha no condutor vertical, do diâmetro do condutor e da vazão de projeto. Com isso, é possível encontrar o diâmetro necessário para o tubo de queda. É importante salientar que o diâmetro mínimo é de 75 mm. Os ábacos estão dispostos nas figuras do anexo D.

4.4.3 Dimensionamento dos elementos complementares

A NBR 10844 (ABNT, 1989) determina que, para tubulações enterradas, quando um tubo horizontal receber uma nova contribuição, em mudanças de direção ou de declividade, quando

o comprimento do tubo exceder 20 metros, ou quando ocorre a ligação entre condutores verticais e horizontais, deve-se colocar uma caixa de areia.

Veról et al (2019) descrevem que, se forem de forma cilíndrica, a dimensão mínima dessas caixas é de 60 centímetros de diâmetro, e se forem de forma prismática, o lado mínimo é também de 60 centímetros, com profundidade máxima de 1 metro. Porém, os autores recomendam que, para fins de facilidade de manutenção, o diâmetro, ou lado, de 80 cm é mais plausível.

4.5 SISTEMA DE REUSO DAS ÁGUAS PLUVIAIS

O dimensionamento do sistema de reuso de águas pluviais consiste simplesmente no cálculo do volume do reservatório, visto que os elementos do caminho da água até os reservatórios pluviais são dimensionados no item 4.4 deste trabalho, e os elementos que conduzem a água de reuso até os pontos de utilização são citados nos itens 4.1.2 e 4.1.3. Para isso, deve-se conhecer o volume de água de chuva disponível diariamente e a demanda de água não potável nas residências (VERÓL et al, 2019).

A NBR 15527 (ABNT, 2019) comenta que o volume teórico disponível de água da chuva depende de diversos fatores como a precipitação da localidade, a área de contribuição, o coeficiente de escoamento superficial da cobertura e a eficiência dos sistemas de pré-tratamento da água da chuva.

O coeficiente de escoamento superficial, também chamado de coeficiente de *runoff*, difere entre os tipos de material utilizados na cobertura. Veról et al (2019) descrevem os valores conforme o tipo de cobertura, de acordo com a tabela 22 abaixo:

Tabela 22 - Coeficientes de *runoff* para diferentes tipos de cobertura

Material	Coeficiente de <i>runoff</i>
Telhas cerâmicas	0,8 a 0,9
Telhas esmaltadas	0,9 a 0,95
Telhas corrugadas de metal	0,8 a 0,9
Cimento amianto	0,8 a 0,9
Plástico	0,9 a 0,95

(Fonte: VEROL et al, 2019)

A equação para o cálculo do volume teórico disponível, segundo Veról et al (2019), tem numeração 18 e está descrita abaixo:

$$V_{disp} = P * A * C * \eta \quad (18)$$

Em que:

V_{disp} : Volume disponível anual, mensal ou diário de água da chuva (L)

P: Precipitação média anual, mensal ou diária (mm)

A: Área de contribuição da cobertura (m²)

C: Coeficiente de escoamento superficial da cobertura (*runoff*)

η : Eficiência do sistema de captação, incluindo o dispositivo de descarte de sólidos e desvio de escoamento inicial, sendo este valor fornecido pelo fabricante dos produtos de pré-tratamento. No caso de falta de dados, adota-se o valor de 0,85 como recomenda a NBR 15527 (ABNT, 2019).

É importante salientar que não há consenso entre os autores sobre a quantidade de milímetros de chuva que devem ser descartados, por isso se adotará 2 milímetros, como recomenda a NBR 15527 (ABNT, 2019).

Quanto à demanda de água não potável, Veról et al (2019) a dividem em interna e externa, com unidades de acordo com o volume e a frequência de cada tipo de utilização. As demandas são mostradas na tabela 23 abaixo:

Tabela 23 - Demanda residencial de água não potável

Demanda interna	Faixa	Unidade
Bacia sanitária – Volume	6-15	L/descarga
Bacia sanitária – Frequência	4-6	Descarga/hab/dia
Máquina de lavar roupa – Volume	100-200	L/ciclo
Máquina de lavar roupa – Frequência	0,2-0,3	Carga/hab/dia
Demanda externa	Faixa	Unidade
Rega de jardim – Volume	2	L/dia/m ²
Rega de jardim – Frequência	8-12	Lavagem/mês
Lavagem de carro – Volume	80-150	L/lavagem/carro
Lavagem de carro – Frequência	1-4	Lavagem/mês

(Fonte: VEROL et al, 2019)

Com isso, pode-se calcular o volume do reservatório de águas pluviais por meio do método de Rippl (Método do diagrama de massas), que, conforme Veról et al (2019, p.384) “dimensiona o reservatório pela máxima diferença acumulada entre o volume captado e a demanda”. A tabela 24 exhibe como deve ser feito o fluxo do cálculo:

Tabela 24 - Dimensionamento do reservatório - Método de Rippl

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Mês	P	A		Volume Aproveitável	Demanda Mensal	$V_{ap} - D$	Diferença Acumulada	Volume Reservatório
	(mm)	(m ²)	$C * \eta$	(m ³)	(m ³)	(m ³)		(m ³)
Janeiro								
Fevereiro								
Março								
Abril								
Mai								
Junho								
Julho								
Agosto								
Setembro								
Outubro								
Novembro								
Dezembro								
Total								

(Fonte: VEROL et al, 2019)

Em que:

(1): Mês do ano

(2): Precipitação média mensal ou diária (mm)

(3): Área de coleta (m²)

(4): Produto do coeficiente de escoamento superficial pela eficiência do sistema de captação

(5): Volume máximo de água pluvial que poderá ser coletado no intervalo de um mês ou um dia, calculado pela equação 18 acima (m³)(6): Demanda mensal a ser atendida (m³)(7): Diferença entre o volume aproveitável e a demanda mensal (m³)(8): Diferença acumulada (m³): volume obtido pelo somatório das diferenças negativas do volume aproveitável menos a demanda(9): Volume do reservatório de água pluvial (m³): volume adquirido no somatório da diferença negativa do volume de chuva e da demanda

A NBR 15527 (ABNT, 2019) ainda faz determinações quanto ao reservatório de água pluvial.

As principais estão descritas abaixo:

- O reservatório de águas pluviais deverá ter canalização de extravasão, dispositivo de esgotamento, inspeção e ventilação;

- A retirada de água do reservatório deve ser feita não muito distante da superfície, sendo recomendado aproximadamente 15 cm abaixo;
- O volume de água pluvial não reutilizado poderá ser lançado em galerias de águas pluviais, na via pública, ou ser infiltrado total ou parcialmente, não havendo perigo de contaminação do lençol freático.

4.6 SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO COM BIODIGESTOR

Existem biodigestores pré-fabricados por empresas como a HomeBiogás, em que a própria empresa apresenta as dimensões dos produtos e o número máximo de pessoas servidas. Mesmo que a empresa traga os números do seu biodigestor, será feito o dimensionamento da quantidade de biogás que pode ser gerado em função da quantidade de matéria orgânica e a qualidade desta para medir o desempenho do produto.

Tchobanoglous et al (2016) comentam que para avaliar a qualidade de um biodigestor, deve-se medir a produção de gás no processo de biodigestão, bem como o comportamento do gás no processo de queima. Para isso, os autores comentam a importância de alguns termos que serão usados no cálculo da produção de gás pelo biodigestor. São estes:

- Demanda Química de Oxigênio (DQO): Segundo Tchobanoglous et al (2016, p. 121) o teste da Demanda Química de Oxigênio “é utilizado para medir o equivalente de oxigênio do material orgânico presente no esgoto que pode ser oxidado quimicamente utilizando dicromato em solução ácida”.
- Tempo de Retenção de Sólidos (TRS): Tchobanoglous et al (2016) descrevem que o Tempo de Retenção de sólidos é um fator importantíssimo nas reações anaeróbias, pois tem relação direta com a massa de organismos metanogênicos e com a eficiência de destruição dos sólidos inseridos no biodigestor. Os autores também propõem uma tabela, com numeração 25 neste trabalho, do Tempo de Retenção de Sólidos em função da temperatura.

Tabela 25 - Tempos de retenção de sólidos sugeridos para o dimensionamento de digestores anaeróbios completamente misturados

Temperatura de operação (°C)	TRS (mínimo)	TRS (projeto)
18	11	28
24	8	20
30	6	14
35	4	10
40	4	10

(Fonte: TCHOBANOGLIOUS et al, 2016)

Com isso, Tchobanoglous et al (2016) definem a equação para calcular o volume de metano produzido nas CNTP (0°C e 1 atm) por um biodigestor anaeróbio, expressa abaixo com numeração 19:

$$V_{CH_4} = K_t * [(S_0 - S) * (Q) * 10^{-3} - 1,42 * P_x] \quad (19)$$

Em que:

V_{CH_4} : Volume de metano produzido nas CNTP (0°C e 1 atm) (m³/d)

K_t : Fator teórico de conversão de 1 g de DQO_b, à temperatura de funcionamento do biodigestor, em metano (m³)

Q : Vazão (m³/d)

S_0 : DQO_b no afluente (g/m³)

S : DQO_b no efluente (g/m³)

P_x : Massa líquida de tecido celular produzida diariamente (kg/d)

Em relação ao fator teórico de conversão, Tchobanoglous et al (2016) explicitam que seu valor é variável com a temperatura, e pode ser calculado através da equação 20. Já o cálculo da massa de sólido produzida diariamente (P_x) é calculada segundo a equação 21.

$$K_t = \frac{R * (273,15 + t)}{P * K} \quad (20)$$

Em que:

K_t : Fator teórico de conversão de 1 g de DQO_b, à temperatura de funcionamento do biodigestor, em metano (m³)

P : Pressão atmosférica (1 atm)

K : DQO correspondente a 1 mol de CH₄ (64g DQO/mol CH₄)

R : Constante de gases (0,08206 atm.L/mol.°K)

t : Temperatura real de operação do biodigestor (°C)

$$P_x = \frac{Y * Q * (S_0 - S) * 10^{-3}}{1 + b * (TRS)} \quad (21)$$

Em que:

Y : Coeficiente de produção com valores típicos entre 0,05 e 0,10 (g SSV/g DQO_b)

b: Coeficiente endógeno com valores típicos entre 0,02 e 0,04 (g/g.dia)

TRS: Tempo de retenção de sólidos (dias)

Tchobanoglous et al (2016) apresentam uma série de coeficientes utilizados nos cálculos acima, os quais estão exibidos na tabela 26 abaixo:

Tabela 26 - Resumo dos coeficientes biocinéticos e estequiométricos de produção de metano no tratamento anaeróbio de efluentes

Parâmetro	Unidade	Valores	
		Faixa	Típico
Síntese celular, Y_H			
Fermentação	g SSV/g DQO	0,06-0,12	0,10
Metanogênese	g SSV/g DQO	0,02-0,06	0,04
Global	g SSV/g DQO	0,05-0,10	0,08
Coeficiente de decaimento, b_H			
Fermentação	g/g.dia	0,02-0,06	0,04
Metanogênese	g/g.dia	0,01-0,04	0,02
Global	g/g.dia	0,02-0,04	0,03
Taxa máxima de crescimento específico, μ_m			
35°C	g/g.dia	0,03-0,38	0,35
30°C	g/g.dia	0,22-0,28	0,25
25°C	g/g.dia	0,18-0,24	0,20
Constante de velocidade de ordem $\frac{1}{2}$, K_S	mg DQO/L	60-500	120
Metano			
Produção nas CNTP	$m^3/kg DQO_r$	-	0,35
Quantidade de gás	%	60-70	65
Quantidade de energia nas CNTP	kJ/m^3	-	38.846

(Fonte: TCHOBANOGLIOUS et al, 2016)

Macintyre (2010) comenta que a produção de biogás é diretamente relacionada com o tipo de matéria orgânica inserida no biodigestor. Um exemplo a ser citado é o caso de dejetos de humanos, que, mesmo sendo um dos menores índices entre outros animais e vegetais, ainda gera 2,9 litros de biogás para cada kgf de dejetos seco. Nesse caso, Macintyre (2010) considera a produção média de dejetos humanos de 0,40 kgf/pessoa/dia. O autor ainda destaca que para cada tipo de matéria orgânica, é necessário inserir um volume de água compatível para aumentar a eficiência da reação. No caso de dejetos de humanos, esse volume é de 118 litros a cada 100 kgf de dejetos.

Esse número pode ser relacionado ao consumo diário de gás, particularmente em usos da cozinha de uma residência descrito por Macintyre (2010), representado na tabela 27:

Tabela 27 - Consumo de biogás em várias serventias

Uso	Consumidor	Consumo de biogás
Cozinha	Por pessoa	0,33 a 0,42 m ³ /dia
Cozinha	Queimador de 5 cm (2") de diâmetro	0,32 m ³ por hora
Cozinha	Queimador de 10 cm (4") de diâmetro	0,46 m ³ por hora
Cozinha	Queimador de 15 cm (6") de diâmetro	0,63 m ³ por hora
Cozinha	Fervura de água a 100°C	0,08 m ³ por litro
Cozinha	Forno (assado)	1 m ³ a cada 25 minutos

(Fonte: MACINTYRE, 2010)

Somando-se os consumos diários, chega-se a um volume total de biogás por dia, que se multiplicado pelo volume de água adicionado e dividido pelo volume de biogás produzido com 1m³ da biomassa escolhida, resulta na quantidade de biomassa a ser colocada no biodigestor para gerar tal quantidade de gás (MACINTYRE, 2010).

Macintyre (2010) ainda descreve a expressão necessária para dimensionar o volume do biodigestor em função do volume de gás necessário por dia, em m³, explicitada na equação 22 abaixo:

$$\text{Volume do biodigestor} = 1,4 * \text{Volume de gás necessário por dia} \quad (22)$$

Para o cálculo do volume do gasômetro, deve-se calcular primeiramente o volume total necessário na quantidade de horas de pico de uso do gás. Para isso, deve-se calcular a vazão de pico do gás, fazendo a razão entre a quantidade diária total de gás a ser produzida/consumida e o número de horas no dia, cujo valor é 24 horas. Esse valor deve ser multiplicado pela quantidade de horas de pico. O resultado é o volume produzido durante as horas de pico, em m³. A equação 23 abaixo descreve os procedimentos de cálculo descritos:

$$V_{\text{produzido no pico}} = \frac{CD_{\text{gás}} * T_{\text{pico}}}{24} \quad (23)$$

Em que:

$V_{\text{produzido no pico}}$: quantidade de gás produzida durante as horas de pico (m³)

$CD_{\text{gás}}$: Consumo diário total de gás (m³)

T_{pico} : Duração do pico de consumo (horas)

O próximo passo para encontrar o volume do gasômetro é calcular o volume que já deverá estar armazenado no gasômetro quando iniciar o pico de consumo, cuja fórmula descrita por Macintyre (2010) tem numeração 24 e está descrita abaixo:

$$V_g = V_{\text{consumido no pico}} - V_{\text{produzido no pico}} \quad (24)$$

Em que:

V_g : Volume do gasômetro (m^3)

$CD_{\text{gás}}$: Consumo diário total de gás (m^3)

$V_{\text{consumido no pico}}$: quantidade de gás consumida durante as horas de pico (m^3)

$V_{\text{produzido no pico}}$: quantidade de gás produzida durante as horas de pico (m^3)

4.7 SISTEMA DE REUSO DAS ÁGUAS CINZAS

O sistema de reuso das águas cinzas é composto basicamente por um sistema de tratamento, dependendo da classe de reuso citada no item 3.8, por um reservatório que acumula a água até esta ser reutilizada, e uma bomba ou pressurizador que dá energia para o esgoto tratado ir até os pontos de consumo (VERÓL et al, 2019).

O reservatório pode ser dimensionado conhecendo-se o consumo diário por habitante, a porcentagem de água que vai para cada um dos pontos que terá reutilização de água cinza, e a quantidade de água que pode ser reaproveitada nesses pontos após o primeiro uso, que equivale ao consumo efetivo da peça hidrossanitária (VERÓL et al, 2019).

Gonçalves (2009, p. 41) define consumo efetivo como “a quantidade de água utilizada na consecução de determinado uso, frequentemente expressa em termos de volume ou vazão. No consumo efetivo somente se quantifica o volume necessário para perfazer o uso considerando as condições ditadas pelas circunstâncias do momento ou período do uso. Entre essas circunstâncias destacam-se o tipo e condições das tecnologias disponíveis associados ao uso em questão, bem como as condições culturais relativas ao usuário.”

Gonçalves (2009) cita estudos que mostram uma média dos consumos efetivos de pontos de utilização geradores de águas cinzas, os quais estão descritos na tabela 28 abaixo:

Tabela 28 - Quantificação do consumo de água nas peças hidrossanitárias geradoras de águas cinzas

Uso	Quantidade	Unidade
Lavatório e chuveiro	41	L/pessoa/dia
Tanque e máquina de lavar	50	L/pessoa/dia

(Fonte: GONÇALVES, 2009)

Com esses dados, o cálculo do reservatório de água cinza se resume em multiplicar a quantidade de água cinza gerada em L/pessoa/dia pelo número de habitantes da residência (VERÓL et al, 2019).

A NBR 13969 (ABNT, 1997) ainda faz algumas determinações quanto à reservação e distribuição de água cinza em residências, sendo as principais descritas abaixo:

- O reservatório de água cinza deverá prever no mínimo 2 horas de abastecimento de água no pico da demanda diária, com exceção para o uso agrícola ou pastoril;
- Quando existirem diversas qualidades de águas de reuso, deve-se prever a reservação distinta das diferentes águas.

Quanto ao tipo de tratamento, pode-se cruzar as tabelas 2, 3 e 4 do item 3.8 para avaliar o melhor método de retirada dos poluentes da água cinza, bem como definir sua classe de utilização.

4.7.1 Sistema de tratamento com *wetlands* construídos de escoamento horizontal subsuperficial

Ao se cruzar as tabelas 2, 3 e 4 do item 3.8, chega-se à conclusão que o tratamento de lagoa com plantas é uma ótima opção, pois este tipo tem alta eficiência de remoção de poluentes, e o terreno da residência em questão é favorável quanto à área necessária.

No entanto, será feito o dimensionamento de uma *wetland* construída, cuja eficiência de tratamento é maior que a lagoa com plantas, pois ainda conta com um meio filtrante de brita ou cascalho (von SPERLING e SEZERINO, 2018).

O dimensionamento do *wetland* construído, segundo Benassi (2018) é realizado seguindo os passos abaixo:

- Escolher o tipo de *wetland* construído mais indicado para o tratamento desejado;
- Determinar a concentração afluyente de poluentes que chega ao sistema;
- Definir a eficiência de remoção e/ou a concentração final desejada dos poluentes que se pretende remover;
- Determinar a vazão média a ser tratada em função da contribuição *per capita* e da população atendida;
- Calcular a porosidade do leito com base na porosidade do material suporte segundo a equação 25 abaixo:

$$P = \frac{V_t - V_s}{V_t} \quad (25)$$

Em que:

P: Porosidade do leito (%)

V_t : Volume útil total do leito (m^3)

V_s : Volume de sólidos presentes no leito

- Determinar o coeficiente de decaimento do poluente (K_t) em função da influência da temperatura, calculada pela equação 26 abaixo:

$$K_T = K_{20} * (\theta)^{T-20} \quad (26)$$

Em que:

K_{20} : Constante de decaimento a $20^\circ C$, com valor de $1,104 d^{-1}$ para remoção de $DBO_{5,20}$ em *wetlands* com escoamento subsuperficial a $20^\circ C$ (d^{-1})

θ : Coeficiente de temperatura, com valor de 1,06 para remoção de $DBO_{5,20}$ em *wetlands* com escoamento subsuperficial a $20^\circ C$

T: Temperatura da *wetland* construída ($^\circ C$)

- Definir a altura ou nível do esgoto na *wetland*. Recomenda-se utilizar nível de 0,5 metro.
- Calcular a área superficial necessária para a instalação do leito segundo a equação 27 abaixo:

$$A_s = \frac{Q_{média} * \ln\left(\frac{C_a}{C_e}\right)}{K_T * h * p} \quad (27)$$

Em que:

A_s : Área superficial do leito (m^2)

$Q_{média}$: Vazão média afluyente no leito (m^3/dia)

C_a : Concentração do poluente no afluyente (g/m^3)

C_e : Concentração do poluente no efluyente (g/m^3)

K_t : Coeficiente de decaimento do poluente (d^{-1})

h: Altura do nível do esgoto (m)

p: Porosidade do leito (%)

4.8 ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICO ORÇAMENTÁRIA PARA IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS DE REUSO DE ÁGUA E TRATAMENTO DE ESGOTO

4.8.1 Análise técnica para implantação dos sistemas de reuso de água e tratamento de esgoto

Em uma primeira análise, se discutirá as condições do terreno para o recebimento dos equipamentos dos sistemas utilizados, bem como os sistemas descentralizados de tratamento das águas cinzas e pluviais. Quanto ao tratamento de esgoto, serão comentadas as vantagens e desvantagens do sistema e possíveis preservações e degradações ao meio ambiente.

4.8.2 Análise orçamentária para a implantação dos sistemas de reuso de água e tratamento de esgoto

Nesta análise, será feito um orçamento de todos os equipamentos dos sistemas adicionais aos existentes. Serão utilizados conceitos de matemática financeira como tempo de recuperação do capital (*payback*) e Valor Presente Líquido (VPL), utilizando-se dos dados consumo de água e de gás, e valor de taxas cobradas por órgãos públicos na região do projeto.

Assaf Neto (2020, p. 247) define o Tempo de Recuperação do Capital (*payback*) como o “tempo necessário para que o dispêndio de capital (valor do investimento) seja recuperado por meio dos benefícios incrementais líquidos de caixa (fluxos de caixa) promovidos pelo investimento.”

A equação 28 mostra o cálculo do *payback*:

$$Payback = \frac{I_0}{FC_t} \quad (28)$$

Em que:

I_0 : Investimento processado no momento zero (R\$)

FC_t : Fluxo (benefício) esperado de caixa líquido de cada período (R\$)

Assaf Neto (2020, p. 256) define o Valor Presente Líquido como a “diferença entre o valor presente dos benefícios líquidos de caixa, previstos para cada período do horizonte de duração do projeto, e o valor presente do investimento (desembolso de caixa).” É importante comentar que o resultado do VPL pode ser positivo, negativo ou zero, oferecendo, respectivamente, rentabilidade superior, inferior ou igual à mínima aceitável. A equação 29 mostra o cálculo do VPL:

$$VPL = \left(\sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+K)^t} \right) - \left(I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{I_t}{(1+K)^t} \right) \quad (29)$$

Em que:

FC_t : Fluxo (benefício) esperado de caixa líquido de cada período (R\$)

K : Taxa de desconto do projeto, representada pela rentabilidade mínima requerida (%)

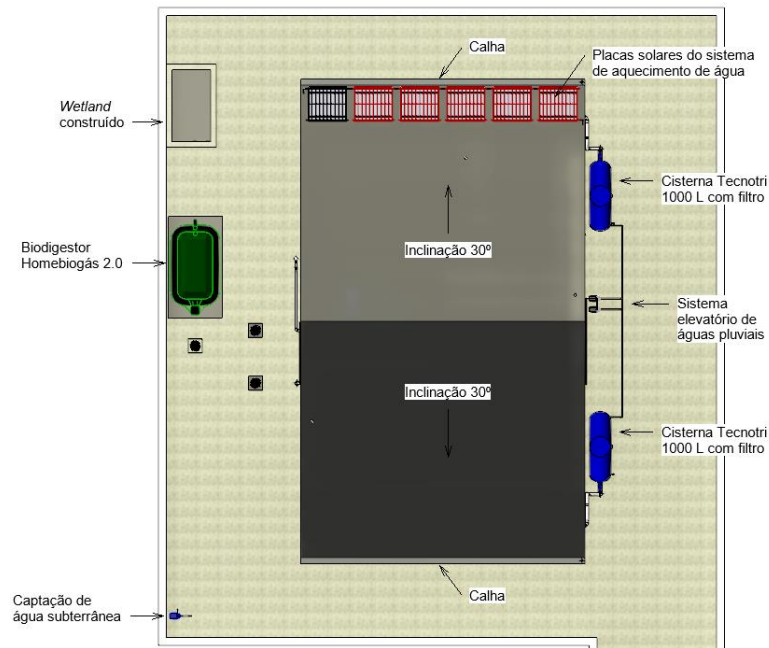
I_0 : Investimento processado no momento zero (R\$)

I_t : Valor do investimento previsto em cada período subsequente (R\$)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

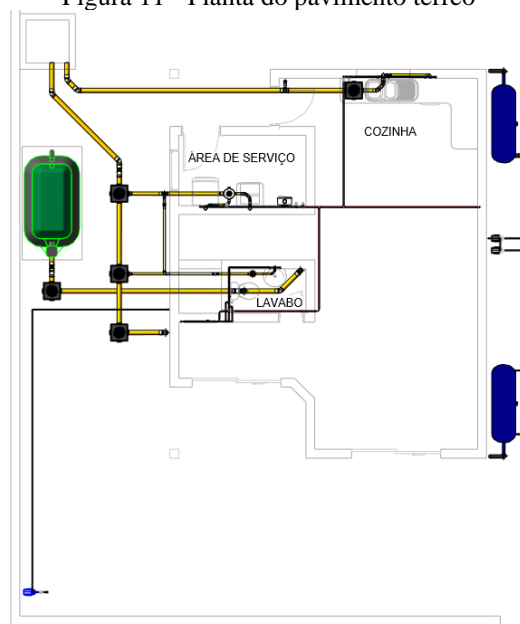
Os cálculos apresentados abaixo levaram em consideração a implantação da arquitetura e de todos os sistemas presentes no projeto hidrossanitário. As figuras 10, 11, 12 e 13 mostram a implantação da casa, a planta do térreo com todos os sistemas projetados, a planta do 2º pavimento – que exhibe somente a parte interna da casa –, e a planta do nível dos reservatórios, que exhibe somente os equipamentos de reservação de água e parte do telhado com as placas solares.

Figura 10 - Planta de implantação da residência em estudo



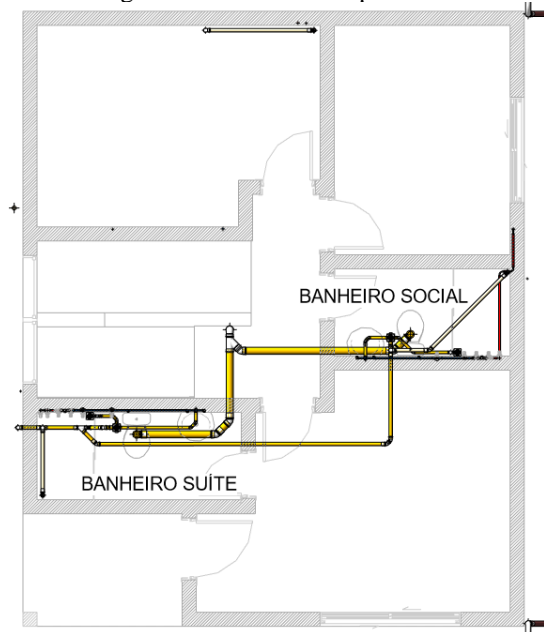
(Fonte: Autoria própria)

Figura 11 - Planta do pavimento térreo



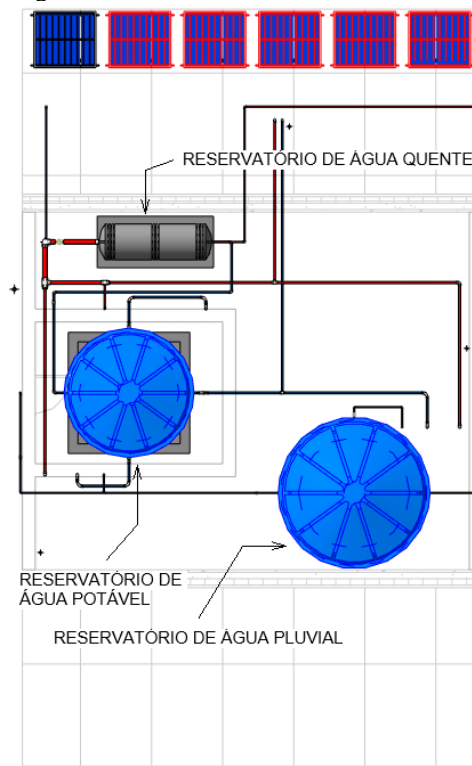
(Fonte: Autoria própria)

Figura 12 - Planta do 2º pavimento



(Fonte: Autoria própria)

Figura 13 - Planta do nível dos reservatórios



(Fonte: Autoria própria)

5.1 INSTALAÇÕES DE ÁGUA FRIA

5.1.1 Dimensionamento do reservatório

Para o dimensionamento do reservatório de água potável, de acordo com o item 4.1.1, deve-se primeiramente calcular a população do local, levando em consideração a quantidade de 2

pessoas por dormitório. Visto que a residência em estudo tem 2 dormitórios, o cálculo da população resulta do produto dos dois valores. Com isso, tem-se a população de 4 habitantes.

O próximo passo é o cálculo do consumo total e do consumo a ser reservado, que de acordo com as equações 1 e 2, são:

$$C_d = 200 * 4 = 800 \text{ litros/dia} \quad (30)$$

$$CR = 2 * 800 = 1600 \text{ litros} \quad (31)$$

Em que:

C_d : Consumo diário total (litros/dia)

CR: Capacidade do reservatório (litros)

O volume comercial a ser adotado neste caso é o de 2000 litros, sendo o mais próximo e maior em relação ao calculado.

5.1.2 Dimensionamento do sistema de recalque

Para o dimensionamento do sistema de bombeamento, deve-se definir o tempo de funcionamento da bomba, que, de acordo com o item 4.1.2, deve ser de no máximo 3 horas para residências unifamiliares. Adotando-se o máximo tempo de funcionamento da bomba, pode-se calcular a vazão do equipamento, utilizando a equação 3:

$$Q_{bomba} = \frac{0,8}{3 * 3600} = 0,00007407 \frac{m^3}{s} \quad (32)$$

Em que:

Q_{bomba} : Vazão da bomba (m^3/s)

O dimensionamento do tubo de recalque é realizado pela equação 4:

$$D_r = 1,3 * \sqrt[4]{0,00007407} * \sqrt{\frac{3}{24}} = 0,00665 \text{ m} = 6,65 \text{ mm} \quad (33)$$

Em que:

D_r : Diâmetro nominal do tubo de recalque (metros)

Com esse diâmetro resultante, o diâmetro comercial mais próximo, e, portanto, o adotado para o recalque, é o de 20 mm. Já para o tubo de sucção, é adotado um diâmetro comercial acima do recalque, sendo adotado 25 mm.

Deve-se ainda fazer a verificação das velocidades de escoamento nos tubos pela equação 5, bem como a determinação das perdas de carga pela equação 6:

$$v_r = \frac{0,00007407}{\frac{\pi * \left(\frac{20 - 2 * 1,5}{1000}\right)^2}{4}} = 0,326 \text{ m/s} \quad (34)$$

$$v_s = \frac{0,00007407}{\frac{\pi * \left(\frac{25 - 2 * 1,7}{1000}\right)^2}{4}} = 0,202 \text{ m/s} \quad (35)$$

Em que:

v_r : velocidade do líquido na tubulação de recalque (m/s)

v_s : velocidade do líquido na tubulação de sucção (m/s)

$$J_{\text{recalque}} = \frac{8,69 * 10^6 * 0,07407^{1,75}}{17^{4,75}} = 0,1307 \frac{\text{kPa}}{\text{m}} = 0,0133 \frac{\text{m}}{\text{m}} \quad (36)$$

$$J_{\text{sucção}} = \frac{8,69 * 10^6 * 0,07407^{1,75}}{21,6^{4,75}} = 0,0419 \frac{\text{kPa}}{\text{m}} = 0,0043 \frac{\text{m}}{\text{m}} \quad (37)$$

Em que:

J_{recalque} : Perda de carga unitária em tubos lisos de PVC (kPa/m)

$J_{\text{sucção}}$: Perda de carga unitária em tubos lisos de PVC (kPa/m)

Como a bomba é existente e não se tem o dado de profundidade do lençol freático do local, adotar-se-á a altura geométrica de sucção como 5 metros. Já em relação à altura geométrica de recalque, obteve-se 7,77 metros aproximadamente. A soma dos comprimentos de tubo da sucção é de 5,2 metros, e do recalque é de 19,77 metros. Os comprimentos equivalentes totais dos trechos estão dispostos nas tabelas 29 e 30 abaixo:

Tabela 29 – Comprimento equivalente da tubulação de sucção ($L_{\text{Equivalente}}$)

Comprimento equivalente – Sucção (DN 25 mm)			
Conexão	Quantidade	Perda equivalente	Perda total
Válvula pé com crivo	1	9,5	9,5
Joelho 90°	1	1,2	1,2
Total (m)			10,7

(Fonte: Autoria própria)

Tabela 30 – Comprimento equivalente da tubulação de recalque ($L_{Requivalente}$)

Comprimento equivalente - Recalque (DN 20 mm)			
Conexão	Quantidade	Perda equivalente	Perda total
Válvula de retenção leve	1	2,5	2,5
Joelho 90°	7	1,1	7,7
Tê saída lateral	1	2,3	2,3
Total (m)			12,5

(Fonte: Autoria própria)

Com esses dados, pode-se calcular a altura manométrica total da instalação de sucção e recalque, de acordo com a equação 7:

$$H_{man} = 5 + 7,77 + 0,0043 * (5,2 + 10,7) + 0,0133 * (19,77 + 12,5) = 13,27 \text{ m} \quad (38)$$

Em que:

H_{man} : Altura manométrica total da instalação de sucção e recalque (m.c.a.)

Para o cálculo da potência da bomba, o rendimento do processo, pelos ábacos do anexo B, resultou em 8%.

Finalmente pode-se calcular a potência da bomba pela equação 8, atentando-se para os acréscimos descritos na tabela 6:

$$P = \frac{1000 * 0,00007407 * 13,27}{75 * 0,08} = 0,164 \text{ CV} \quad (39)$$

Em que:

P: Potência da bomba (CV)

De acordo com a tabela 6, deve-se acrescentar 50% de potência em resultados menores que 2 CV. Portanto, a potência final da bomba com o acréscimo é igual a 0,25 CV. Logo, a bomba mais próxima a essas características disponível comercialmente é a BC-98 da marca Schneider, com potência de 0,33 CV.

5.1.3 Dimensionamento das tubulações de distribuição interna

Foi realizado o pré-dimensionamento dos ramais e sub-ramais, considerando os diâmetros mínimos da tabela 7 e os pesos relativos da tabela 8. Também foi feita a verificação das velocidades, em que todos os trechos foram aprovados. Os resultados estão expostos nas tabelas 31 e 32 abaixo:

Tabela 31 – Pré-dimensionamento dos ramais e sub-ramais do banheiro social, banheiro suíte e cozinha

Ambiente	Ponto de Uso	Trecho	ΣP	Q (L/s)	D (mm)	Di (mm)	V (m/s)	Verificação V<3 m/s
Banheiro Social	Chuveiro	RES-A	2,4	0,465	25	21,6	1,27	OK
		A-B	0,7	0,251	20	17	1,11	OK
		B-C	0,7	0,251	20	17	1,11	OK
		C-D	0,4	0,19	20	17	0,84	OK
		D-CH	0,4	0,19	20	17	0,84	OK
	Lavatório	RES-A	2,4	0,465	25	21,6	1,27	OK
		A-B	0,7	0,251	20	17	1,11	OK
		B-C	0,7	0,251	20	17	1,11	OK
		C-LAV	0,3	0,164	20	17	0,72	OK
Banheiro Suíte	Chuveiro	RES-A	1	0,3	20	17	1,32	OK
		A-B	0,4	0,19	20	17	0,84	OK
		B-CH	0,4	0,19	20	17	0,84	OK
	Lavatório	RES-A	1	0,3	20	17	1,32	OK
		A-C	0,6	0,232	20	17	1,02	OK
		C-LAV	0,3	0,164	20	17	0,72	OK
Cozinha	Pia	RES-A	2,4	0,465	25	21,6	1,27	OK
		A-B	1,7	0,391	25	21,6	1,07	OK
		B-PIA	0,7	0,251	25	21,6	0,68	OK
	Máquina de Lavar Louças	RES-A	2,4	0,465	25	21,6	1,27	OK
		A-B	1,7	0,391	25	21,6	1,07	OK
		B-MLL	1	0,3	25	21,6	0,82	OK

(Fonte: Autoria própria)

Tabela 32 – Pré-dimensionamento dos ramais e sub-ramais do lavabo e da área de serviço

Ambiente	Ponto de Uso	Trecho	ΣP	Q (L/s)	D (mm)	Di (mm)	V (m/s)	Verificação V<3 m/s
Lavabo	Lavatório	RES-A	1	0,3	20	17	1,32	OK
		A-C	0,6	0,232	20	17	1,02	OK
		C-LAV	0,3	0,164	20	17	0,72	OK
Área de Serviço	Aquecedor a Gás	RES-A	8,7	0,885	32	27,8	1,46	OK
		A-AQC	7	0,794	32	27,8	1,31	OK
	Tanque	RES-A	8,7	0,885	32	27,8	1,46	OK
		A-TQ	1,7	0,391	25	21,6	1,07	OK
	Máquina de Lavar Roupas	RES-A	8,7	0,885	32	27,8	1,46	OK
		A-TQ	1,7	0,391	25	21,6	1,07	OK
		TQ-MLR	1	0,3	25	21,6	0,82	OK

(Fonte: Autoria própria)

É importante salientar que, para o cálculo dos ramais e sub-ramais da área de serviço, foi pré-dimensionado um aquecedor a gás, de acordo com o item 4.2.2 e calculado no item 5.2.2, que atendesse a duas duchas, bem como os outros aparelhos que utilizam água quente, como a pia, os lavatórios e as máquinas de lavar louça e roupa, resultando em uma vazão de 52 litros/minuto. De acordo com a Rinnai Brasil (2020), o aquecedor de passagem a gás que chega mais perto dessa vazão é o de 47,5 litros/minuto, tendo um peso relativo de 7, calculado através

da equação 9. Este peso foi utilizado para o pré-dimensionamento das tubulações da área de serviço.

O próximo passo é o cálculo das perdas de carga lineares e localizadas. Para isso, é necessário saber os comprimentos de tubos, bem como a quantidade e o tipo de conexões e registros. Esses dados estão mostrados nas tabelas 33, 34, 35, 36 e 37, juntamente com o cálculo das perdas de carga lineares, comprimentos equivalentes e perdas de carga totais:

Tabela 33 – Cálculo das perdas de carga para o banheiro social

Ambiente	Ponto de Uso	Trecho	L Real (m)	J linear (kPa/m)	Conexões/Registros	L equivalente (m)	L total (m)	J total (kPa)			
Banheiro Social	Chuveiro	RES-A	2,66	1,04	1 registro gaveta $\Phi 25$	0,2	4,66	4,86			
					1 tê passagem direta $\Phi 25$	0,8					
					2 curvas $90^\circ \Phi 25$	1,00					
		A-B	2,72	1,11	2 curvas $90^\circ \Phi 20$	0,8	3,52	3,89			
					B-C	1,70	1,11	1 registro gaveta $\Phi 20$	0,1	4,10	4,54
								1 tê saída lateral $\Phi 20$	2,3		
	C-D	0,12	0,68	1 registro de pressão $\Phi 20$	0,1	2,52	1,71				
				1 tê saída lateral $\Phi 20$	2,3						
	D-CH	0,94	0,68	1 joelho $90^\circ \Phi 20$	1,1	2,04	1,38				
	Lavatório	RES-A	2,66	1,04	1 registro gaveta $\Phi 25$	0,2	4,66	4,86			
					1 tê passagem direta $\Phi 25$	0,8					
					2 curvas $90^\circ \Phi 25$	1,00					
A-B		2,72	1,11	2 curvas $90^\circ \Phi 20$	0,8	3,52	3,89				
				B-C	1,70	1,11	1 registro gaveta $\Phi 20$	0,1	2,50	2,77	
1 tê passagem direta $\Phi 20$		0,7									
C-LAV	1,18	0,53	3 joelhos $90^\circ \Phi 20$	3,3	4,48	2,36					

(Fonte: Autoria própria)

Tabela 34 – Cálculo das perdas de carga para o banheiro suíte

Ambiente	Ponto de Uso	Trecho	L Real (m)	J linear (kPa/m)	Conexões/Registros	L equivalente (m)	L total (m)	J total (kPa)
Banheiro Suíte	Chuveiro	RES-A	4,05	1,51	2 registros gaveta $\Phi 20$	0,2	8,55	12,92
					5 curvas $90^\circ \Phi 20$	2		
					1 tê saída lateral $\Phi 20$	2,3		
		A-B	0,10	0,68	1 registro de pressão $\Phi 20$	0,1	2,50	1,69
					1 tê saída lateral $\Phi 20$	2,3		
					B-CH	0,94		
	Lavatório	RES-A	4,05	1,51	2 registros gaveta $\Phi 20$	0,2	6,95	10,50
					5 curvas $90^\circ \Phi 20$	2		
		A-C	0,33	0,97	1 tê passagem direta $\Phi 20$	0,7	2,63	2,54
					1 tê saída lateral $\Phi 20$	2,3		
C-LAV	2,10	0,53	2 joelhos $90^\circ \Phi 20$	2,2	4,30	2,27		

(Fonte: Autoria própria)

Tabela 35 – Cálculo das perdas de carga para a cozinha

Ambiente	Ponto de Uso	Trecho	L Real (m)	J linear (kPa/m)	Conexões/Registros	L equivalente (m)	L total (m)	J total (kPa)
Cozinha	Pia	RES-A	2,66	1,04	1 registro gaveta $\Phi 25$	0,2	6,26	6,53
					1 tê saída lateral $\Phi 25$	2,4		
					2 curvas $90^\circ \Phi 25$	1,00		
		A-B	9,85	0,77	2 joelhos $90^\circ \Phi 25$	2,4	14,85	11,45
					1 registro gaveta $\Phi 25$	0,2		
					1 tê saída lateral $\Phi 25$	2,4		
	B-PIA	0,17	0,35	1 joelho $90^\circ \Phi 25$	1,2	1,37	0,49	
	Máquina de Lavar Louças	RES-A	2,66	1,04	1 registro gaveta $\Phi 25$	0,2	6,26	6,53
					1 tê saída lateral $\Phi 25$	2,4		
					2 curvas $90^\circ \Phi 25$	1,00		
		A-B	9,85	0,77	2 joelhos $90^\circ \Phi 25$	2,4	13,25	10,21
					1 registro gaveta $\Phi 25$	0,2		
1 tê passagem direta $\Phi 25$					0,8			
B-MLL	1,20	0,48	2 joelhos $90^\circ \Phi 25$	2,4	3,60	1,74		

(Fonte: Autoria própria)

Tabela 36 – Cálculo das perdas de carga para o lavabo

Ambiente	Ponto de Uso	Trecho	L Real (m)	J linear (kPa/m)	Conexões/Registros	L equivalente (m)	L total (m)	J total (kPa)
Lavabo	Lavatório	RES-A	4,05	1,51	2 registros gaveta $\Phi 20$	0,2	6,95	10,50
					5 curvas $90^\circ \Phi 20$	2		
					1 tê passagem direta $\Phi 20$	0,7		
		A-C	0,33	0,97	1 tê passagem direta $\Phi 20$	0,7	1,03	1,00
		C-LAV	5,51	0,53	8 joelhos $90^\circ \Phi 20$	8,8	14,41	7,59
					1 registro gaveta $\Phi 20$	0,1		

(Fonte: Autoria própria)

Tabela 37 – Cálculo das perdas de carga para a área de serviço

Ambiente	Ponto de Uso	Trecho	L Real (m)	J linear (kPa/m)	Conexões/Registros	L equivalente (m)	L total (m)	J total (kPa)
Área de Serviço	Aquecedor a Gás	RES-A	5,62	0,97	2 registros gaveta $\Phi 32$	0,6	12,32	11,95
					5 curvas 90° $\Phi 32$	3		
					1 tê saída lateral $\Phi 32$	3,1		
		A-AQC	0,26	0,80	2 joelhos 90° $\Phi 32$	3	3,26	2,61
	Tanque	RES-A	5,62	0,97	2 registros gaveta $\Phi 32$	0,6	10,12	9,82
					5 curvas 90° $\Phi 32$	3		
					1 tê passagem direta $\Phi 32$	0,9		
		A-TQ	1,23	0,77	1 joelho 90° $\Phi 25$	1,2	4,83	3,72
					1 tê saída lateral $\Phi 25$	2,4		
	Máquina de Lavar Roupas	RES-A	5,62	0,97	2 registros gaveta $\Phi 32$	0,6	10,12	9,82
					5 curvas 90° $\Phi 32$	3		
					1 tê passagem direta $\Phi 32$	0,9		
		A-TQ	1,23	0,77	1 joelho 90° $\Phi 25$	1,2	3,23	2,49
		TQ-MLR	1,31	0,48	2 joelhos 90° $\Phi 25$	2,4	3,71	1,80

(Fonte: Autoria própria)

O último passo do dimensionamento das tubulações de distribuição é verificar se as pressões obtidas nos trechos são maiores ou iguais que as requeridas para os pontos de uso. O cálculo das pressões está disposto nas tabelas 38, 39, 40, 41 e 42 para os diferentes ambientes da residência em estudo.

Tabela 38 – Verificação das pressões para o banheiro social

Ambiente	Ponto de Uso	Trecho	J total (kPa)	Δh (m)	Pressão disponível (kPa)	Pressão requerida (kPa)	Pressão disponível residual (kPa)	Verificação Pressão
Banheiro Social	Chuveiro	RES-A	4,86	1,40	14,00	5	9,14	OK
		A-B	3,89	0,00	0,00	5	5,25	OK
		B-C	4,54	1,76	17,60	5	18,31	OK
		C-D	1,71	0,00	0,00	5	16,61	OK
		D-CH	1,38	-1,00	-10,00	15	5,22	NÃO OK
	Lavatório	RES-A	4,86	1,40	14,00	5	9,14	OK
		A-B	3,89	0,00	0,00	5	5,25	OK
		B-C	2,77	1,76	17,60	5	20,08	OK
		C-LAV	2,36	0,50	5,00	5	22,72	OK

(Fonte: Autoria própria)

Tabela 39 – Verificação das pressões para o banheiro suíte

Ambiente	Ponto de Uso	Trecho	J total (kPa)	Δh (m)	Pressão disponível (kPa)	Pressão requerida (kPa)	Pressão disponível residual (kPa)	Verificação Pressão
Banheiro Suíte	Chuveiro	RES-A	12,92	3,16	31,60	5	18,68	OK
		A-B	1,69	0,00	0,00	5	16,98	OK
		B-CH	1,38	-1,00	-10,00	15	5,60	NÃO OK
	Lavatório	RES-A	10,50	3,16	31,60	5	21,10	OK
		A-C	2,54	0,40	4,00	5	22,55	OK
		C-LAV	2,27	0,10	1,00	5	21,29	OK

(Fonte: Autoria própria)

Tabela 40 – Verificação das pressões para a cozinha

Ambiente	Ponto de Uso	Trecho	J total (kPa)	Δh (m)	Pressão disponível (kPa)	Pressão requerida (kPa)	Pressão disponível residual (kPa)	Verificação Pressão
Cozinha	Pia	RES-A	6,53	1,40	14,00	5	7,47	OK
		A-B	11,45	4,86	48,60	5	44,63	OK
		B-PIA	0,49	0,20	2,00	5	46,14	OK
	Máquina de Lavar Louças	RES-A	6,53	1,40	14,00	5	7,47	OK
		A-B	10,21	4,86	48,60	5	45,86	OK
		B-MLL	1,74	0,20	2,00	5	46,12	OK

(Fonte: Autoria própria)

Tabela 41 – Verificação das pressões para o lavabo

Ambiente	Ponto de Uso	Trecho	J total (kPa)	Δh (m)	Pressão disponível (kPa)	Pressão requerida (kPa)	Pressão disponível residual (kPa)	Verificação Pressão
Lavabo	Lavatório	RES-A	10,50	3,16	31,60	5	21,10	OK
		A-C	1,00	0,40	4,00	5	24,10	OK
		C-LAV	7,59	2,90	29,00	5	45,51	OK

(Fonte: Autoria própria)

Tabela 42 – Verificação das pressões para a área de serviço

Ambiente	Ponto de Uso	Trecho	J total (kPa)	Δh (m)	Pressão disponível (kPa)	Pressão requerida (kPa)	Pressão disponível residual (kPa)	Verificação Pressão
Área de Serviço	Aquecedor a Gás	RES-A	11,95	5,66	56,60	5	44,65	OK
		A-AQC	2,13	0,10	1,00	30	43,51	OK
	Tanque	RES-A	9,82	5,66	56,60	5	46,78	OK
		A-TQ	3,72	0,25	2,50	5	45,56	OK
	Máquina de Lavar Roupas	RES-A	9,82	5,66	56,60	5	46,78	OK
		A-TQ	2,49	0,25	2,50	5	46,79	OK
		TQ-MLR	1,80	0,25	2,50	5	47,49	OK

(Fonte: Autoria própria)

Para os cálculos, foi considerada a elevação de 1,40 metro do reservatório acima da laje de forro do 2º pavimento, não podendo mais ser elevado por limitações arquitetônicas (a representação em corte com os reservatórios e suas cotas está exibida no Anexo E deste trabalho). Em vista disso, para os pontos de uso alcançarem as pressões mínimas requeridas, foi simplesmente

aumentado o diâmetro de alguns trechos de tubos, assim como suas conexões e registros. O resultado final de verificação de pressões está descrito nas tabelas 43, 44, 45, 46 e 47, bem como as vistas isométricas com os novos diâmetros nas figuras 14, 15, 16, 17 e 18.

Tabela 43 – Resultado final da verificação de pressões para o banheiro social

Ambiente	Ponto de Uso	Trecho	ΣP	Q (L/s)	D (mm)	Di (mm)	V (m/s)	Verificação V<3 m/s	L Real (m)	J linear (kPa/m)	L equivalente (m)	L total (m)	J total (kPa)	Δh (m)	Pressão disponível (kPa)	Pressão requerida (kPa)	Pressão disponível residual (kPa)	Verificação Pressão
Banheiro Social	Chuveiro	RES-A	2,4	0,46	32	27,8	0,77	OK	2,66	0,31	0,3	5,06	1,59	1,40	14,00	5	12,41	OK
											0,9							
											1,20							
		A-B	0,7	0,25	32	27,8	0,41	OK	2,72	0,11	1,20	3,92	0,42	0,00	0,00	5	11,99	OK
											0,2							
	B-C	0,7	0,25	25	21,6	0,68	OK	1,70	0,35	2,4	4,30	1,52	1,76	17,60	5	28,06	OK	
	C-D	0,4	0,19	25	21,6	0,52	OK	0,11	0,22	0,2	2,71	0,59	0,00	0,00	5	27,48	OK	
	D-CH	0,4	0,19	20	17	0,84	OK	0,94	0,68	2,4	2,04	1,38	-1,00	-10,00	15	16,09	OK	
	Lavatório	RES-A	2,4	0,46	32	27,8	0,77	OK	2,66	0,31	0,3	5,06	1,59	1,40	14,00	5	12,41	OK
											0,9							
1,20																		
A-B		0,7	0,25	32	27,8	0,41	OK	2,72	0,11	1,20	3,92	0,42	0,00	0,00	5	11,99	OK	
B-C		0,7	0,25	25	21,6	0,68	OK	1,70	0,35	0,2	2,70	0,96	1,76	17,60	5	28,63	OK	
C-LAV	0,3	0,16	20	17	0,72	OK	1,18	0,53	0,8	4,48	2,36	0,50	5,00	5	31,27	OK		

(Fonte: Autoria própria)

Tabela 44 – Resultado final da verificação de pressões para o banheiro suíte

Ambiente	Ponto de Uso	Trecho	ΣP	Q (L/s)	D (mm)	Di (mm)	V (m/s)	Verificação V<3 m/s	L Real (m)	J linear (kPa/m)	L equivalente (m)	L total (m)	J total (kPa)	Δh (m)	Pressão disponível (kPa)	Pressão requerida (kPa)	Pressão disponível residual (kPa)	Verificação Pressão
Banheiro Suíte	Chuveiro	RES-A	1	0,30	32	27,8	0,49	OK	4,05	0,15	0,6	10,75	1,57	3,16	31,60	5	30,03	OK
											3							
											3,1							
	A-B	0,4	0,19	25	21,6	0,52	OK	0,10	0,22	0,2	2,70	0,59	0,00	0,00	5	29,44	OK	
										2,4								
	B-CH	0,4	0,19	20	17	0,84	OK	0,94	0,68	1,1	2,04	1,38	-1,00	-10,00	15	18,06	OK	
Lavatório	RES-A	1	0,30	32	27,8	0,49	OK	4,05	0,15	0,6	8,55	1,25	3,16	31,60	5	30,35	OK	
										3								
										0,9								
A-C	0,6	0,23	20	17	1,02	OK	0,33	0,97	2,3	2,63	2,54	0,40	4,00	5	31,81	OK		
C-LAV	0,3	0,16	20	17	0,72	OK	2,10	0,53	2,2	4,30	2,27	0,10	1,00	5	30,54	OK		

(Fonte: Autoria própria)

Tabela 45 – Resultado final da verificação de pressões para a cozinha

Ambiente	Ponto de Uso	Trecho	ΣP	Q (L/s)	D (mm)	Di (mm)	V (m/s)	Verificação V<3 m/s	L Real (m)	J linear (kPa/m)	L equivalente (m)	L total (m)	J total (kPa)	Δh (m)	Pressão disponível (kPa)	Pressão requerida (kPa)	Pressão disponível residual (kPa)	Verificação Pressão
Cozinha	Pia	RES-A	2,4	0,46	32	27,8	0,77	OK	2,66	0,31	0,3	7,26	2,28	1,40	14,00	5	11,72	OK
											3,1							
											1,20							
		A-B	1,7	0,39	25	21,6	1,07	OK	9,85	0,77	2,4	14,85	11,45	4,86	48,60	5	48,87	OK
											0,2							
											2,4							
	B-PIA	0,7	0,25	25	21,6	0,68	OK	0,17	0,35	1,2	1,37	0,49	0,20	2,00	5	50,38	OK	
										0,3								
										3,1								
	Máquina de Lavar Louças	RES-A	2,4	0,46	32	27,8	0,77	OK	2,66	0,31	0,3	7,26	2,28	1,40	14,00	5	11,72	OK
											3,1							
											1,20							
A-B		1,7	0,39	25	21,6	1,07	OK	9,85	0,77	2,4	13,25	10,21	4,86	48,60	5	50,10	OK	
										0,2								
										0,8								
B-MLL	1	0,30	25	21,6	0,82	OK	1,20	0,48	2,4	3,60	1,74	0,20	2,00	5	50,36	OK		
									0,3									
									3,1									

(Fonte: Autoria própria)

Tabela 46 – Resultado final da verificação de pressões para o lavabo

Ambiente	Ponto de Uso	Trecho	ΣP	Q (L/s)	D (mm)	Di (mm)	V (m/s)	Verificação V<3 m/s	L Real (m)	J linear (kPa/m)	L equivalente (m)	L total (m)	J total (kPa)	Δh (m)	Pressão disponível (kPa)	Pressão requerida (kPa)	Pressão disponível residual (kPa)	Verificação Pressão
Lavabo	Lavatório	RES-A	1	0,30	32	27,8	0,49	OK	4,05	0,15	0,6	8,55	1,25	3,16	31,60	5	30,35	OK
											3							
											0,9							
		A-C	0,6	0,23	20	17	1,02	OK	0,33	0,97	0,7	1,03	1,00	0,40	4,00	5	33,35	OK
											8,8							
											0,1							
C-LAV	0,3	0,16	20	17	0,72	OK	5,51	0,53	14,41	14,41	7,59	2,90	29,00	5	54,76	OK		
									0,1									
									0,1									

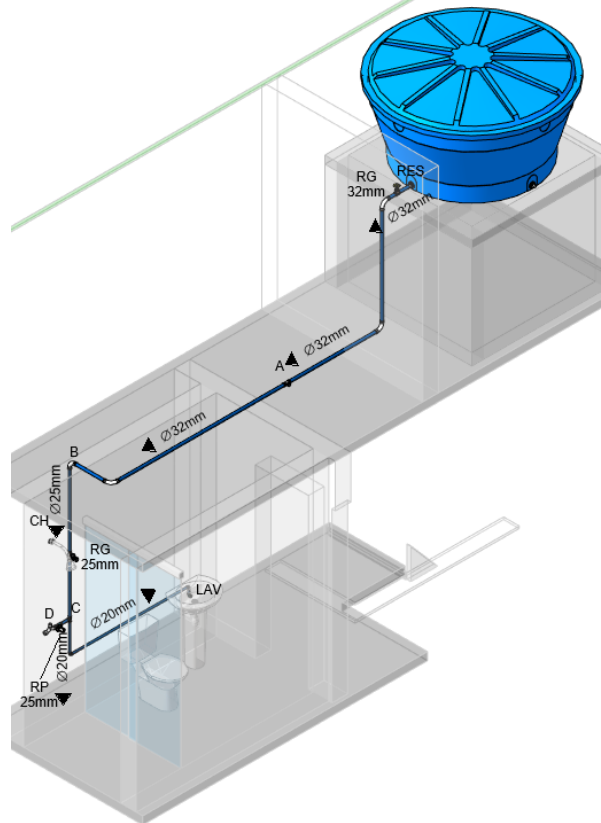
(Fonte: Autoria própria)

Tabela 47 – Resultado final da verificação de pressões para a área de serviço

Ambiente	Ponto de Uso	Trecho	ΣP	Q (L/s)	D (mm)	Di (mm)	V (m/s)	Verificação V<3 m/s	L Real (m)	J linear (kPa/m)	L equivalente (m)	L total (m)	J total (kPa)	Δh (m)	Pressão disponível (kPa)	Pressão requerida (kPa)	Pressão disponível residual (kPa)	Verificação Pressão
Área de Serviço	Aquecedor a Gás	RES-A	8,7	0,88	32	27,8	1,46	OK	5,62	0,97	0,6 3 3,1	12,32	11,95	5,66	56,60	5	44,65	OK
		A-AQC	7	0,79	32	27,8	1,31	OK	0,26	0,80	3	3,26	2,61	0,10	1,00	30	43,03	OK
	Tanque	RES-A	8,7	0,88	32	27,8	1,46	OK	5,62	0,97	0,6 3 0,9	10,12	9,82	5,66	56,60	5	46,78	OK
		A-TQ	1,7	0,39	25	21,6	1,07	OK	1,23	0,77	1,2 2,4	4,83	3,72	0,25	2,50	5	45,56	OK
		RES-A	8,7	0,88	32	27,8	1,46	OK	5,62	0,97	0,6 3 0,9	10,12	9,82	5,66	56,60	5	46,78	OK
	Máquina de Lavar Roupas	A-TQ	1,7	0,39	25	21,6	1,07	OK	1,23	0,77	1,2 0,8	3,23	2,49	0,25	2,50	5	46,79	OK
		TQ-MLR	1	0,30	25	21,6	0,82	OK	1,31	0,48	2,4	3,71	1,80	0,25	2,50	5	47,49	OK

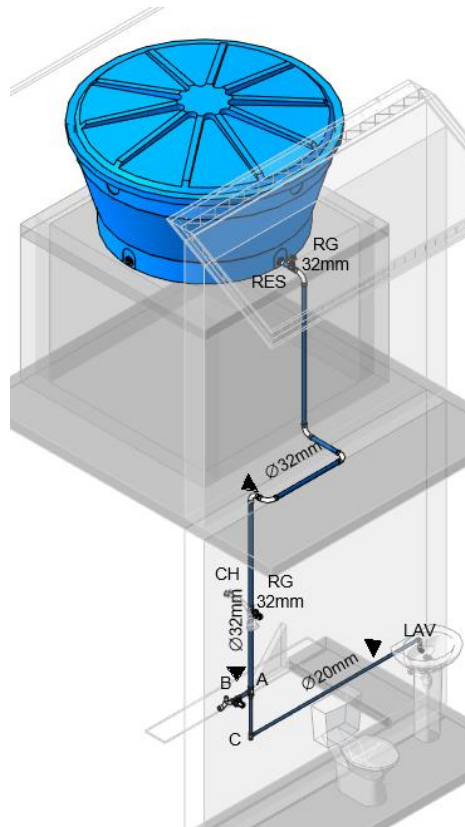
(Fonte: Autoria própria)

Figura 14 – Vista isométrica final para o banheiro social



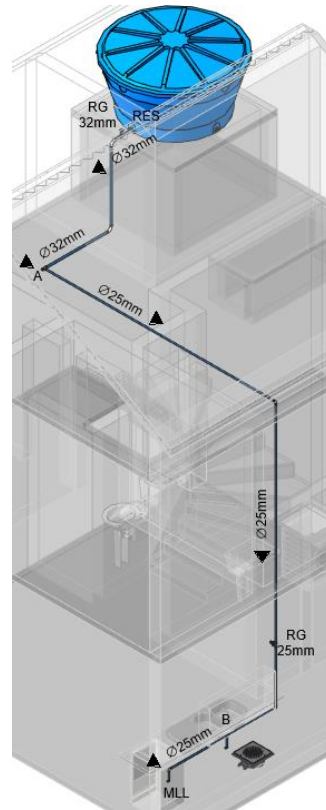
(Fonte: Autoria própria)

Figura 15 – Vista isométrica final para o banheiro suíte



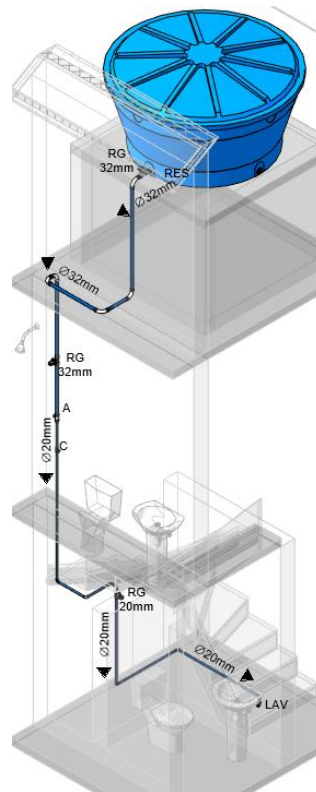
(Fonte: Autoria própria)

Figura 16 – Vista isométrica final para a cozinha



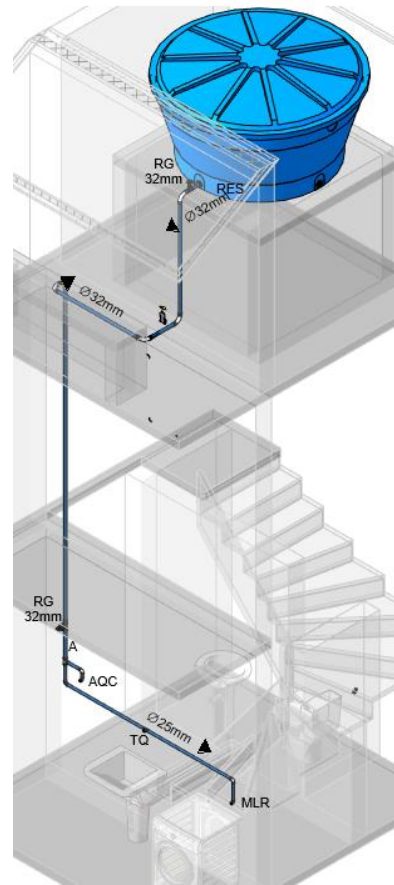
(Fonte: Autoria própria)

Figura 17 – Vista isométrica final para o lavabo



(Fonte: Autoria própria)

Figura 18 – Vista isométrica final para a área de serviço



(Fonte: Autoria própria)

5.2 INSTALAÇÕES DE ÁGUA QUENTE

5.2.1 Consumo de água quente

Para o dimensionamento do reservatório de acumulação a gás, foram consideradas as vazões das peças existentes que utilizarão água quente, que serão 2 duchas, 3 lavatórios, 1 pia, 1 máquina de lavar louças e 1 máquina de lavar roupas. Transformando-se as vazões da tabela 5 para litros/minuto, pode-se realizar o somatório das vazões e dividir pela metade, pois a água quente será misturada com a água fria. Os resultados estão expostos na tabela 48 abaixo:

Tabela 48 – Determinação da vazão do aquecedor de passagem a gás

Peça	Quantidade	Vazão por peça (L/min)	Vazão total (L/min)	Vazão do aquecedor (L/min)
Chuveiro	2	11,38	22,77	
Lavatório	3	9,86	29,58	
Pia	1	15,06	15,06	51,70
Lava Louças	1	18,00	18,00	
Lava Roupas	1	18,00	18,00	

(Fonte: Autoria própria)

Já para o dimensionamento do reservatório de acumulação com aquecimento solar, o consumo admitido é de 50 litros/pessoa/dia de acordo com Carvalho Júnior (2014). A população calculada no item 4.1.1 é de 4 habitantes.

5.2.2 Dimensionamento do aquecedor de passagem a gás

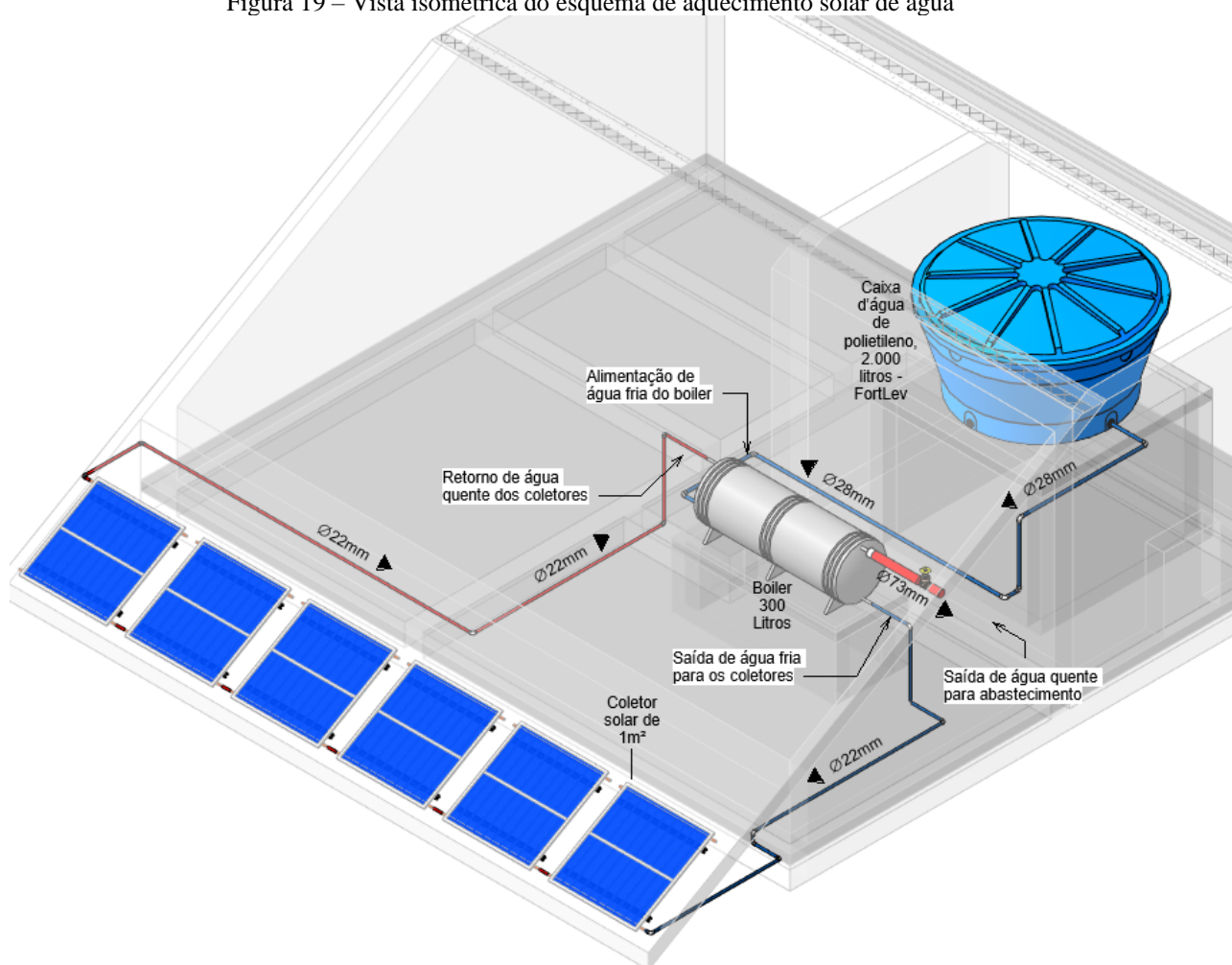
Será projetada uma rede de água quente com aquecimento a gás para suprir as demandas de temperatura da água em dias sem sol, quando o aquecimento solar perde eficiência. No entanto, em dias com sol, o sistema a gás ficará desativado pelo fechamento manual de seus registros gaveta instalados em cada ambiente de utilização. Para o dimensionamento do aquecedor de passagem a gás, será utilizada a vazão resultante calculada no item 5.2.1 para buscar um aquecedor de passagem a gás compatível. Como já mencionado no item 5.1.3, o aquecedor de passagem a gás com vazão mais próxima da calculada é o de 47,5 litros/minuto de acordo com a Rinnai Brasil (2020).

5.2.3 Dimensionamento do aquecedor solar

O aquecedor solar, formado pelos coletores solares e o *boiler* que acumula a água quente, estará sempre em funcionamento, exceto em dias nublados, em que o sistema de passagem a gás terá seus registros gaveta abertos manualmente, podendo-se fechar os registros do aquecimento solar. Para o dimensionamento do reservatório de água aquecida com energia solar, considera-se a população de 4 habitantes, o consumo de 50 litros/pessoa/dia e o consumo diário da pia de cozinha de 50 litros, que deve ser somada à parte. O cálculo do volume do *boiler* é simplesmente o produto da população com o consumo diário *per capita* somado com o consumo diário da pia. Isso resulta em um volume de 250 litros, porém se adotará um volume de 300 litros devido a disponibilidades comerciais.

Quanto à área de coletores solares, calcula-se 1 m² para cada 50 litros de água aquecidos. Como o reservatório adotado foi de 300 litros, são necessárias 6 placas de 1 m² para suprir a demanda de aquecimento. As placas estão dispostas em uma linha no telhado, como mostra a figura 19, devido a esta ser a única forma de atender as alturas mínimas entre o reservatório de água fria e o *boiler*, e entre o *boiler* e as placas solares.

Figura 19 – Vista isométrica do esquema de aquecimento solar de água



(Fonte: Autoria própria)

5.2.4 Dimensionamento das tubulações de distribuição do sistema de aquecimento a gás

O dimensionamento das tubulações de CPVC de distribuição de água quente no sistema de passagem a gás foi realizado primeiramente com todas as tubulações de 22 mm, já fazendo a verificação das pressões nos pontos de utilização. Visto que vários trechos de tubos ficaram abaixo da pressão requerida, aumentou-se o diâmetro dos tubos a fim de verificar se atingiam a pressão mínima requerida, o que não ocorreu. Em vista disso, foi colocado um pressurizador na entrada de água fria do aquecedor, como será comentado abaixo. O resultado é mostrado nas tabelas 49, 50, 51, 52 e 53 para cada ambiente:

Tabela 49 – Verificação das pressões de água quente no sistema de passagem a gás para o banheiro social

Ambiente	Ponto de Uso	Trecho	ΣP	Q (L/s)	D (mm)	Di (m)	V (m/s)	Verificação V<3 m/s	L Real (m)	J linear (kPa/m)	L equivalente (m)	L total (m)	J total (kPa)	Δh (m)	Pressão disponível (kPa)	Pressão requerida (kPa)	Pressão disponível residual (kPa)	Verificação Pressão
Banheiro Social	Chuveiro	AQC-A	4,4	0,63	28	23	1,51	OK	0,26	1,11954	1,5	2,96	3,31	0,40	4,00	5	39,26	OK
											0,30							
											0,90							
		A-B	3,4	0,55	28	23	1,33	OK	1,10	0,88199	0,30	2,90	2,56	0,94	9,36	5	46,06	OK
											0,6							
											0,90							
	B-C	2,4	0,46	28	23	1,12	OK	0,51	0,63906	0,90	1,41	0,90	0,00	0,00	5	45,16	OK	
										3								
										0,30								
	C-D	0,7	0,25	28	23	0,60	OK	7,83	0,20444	0,90	12,03	2,46	-3,44	-34,36	5	8,34	OK	
										3,1								
										3,57								
	D-E	0,4	0,19	28	23	0,46	OK	0,47	0,12183	0,20	3,57	0,43	-0,50	-5,00	5	2,91	NÃO OK	
										2,4								
4,83																		
E-CH	0,4	0,19	22	18	0,75	OK	1,03	0,40197	1,2	4,83	1,94	-1,00	-10,00	15	-9,04	NÃO OK		
									1,5									
									2,96									
Lavatório	AQC-A	4,4	0,63	28	23	1,51	OK	0,26	1,11954	0,30	2,96	3,31	0,40	4,00	5	39,26	OK	
										0,90								
										0,30								
	A-B	3,4	0,55	28	23	1,33	OK	1,10	0,88199	0,6	2,90	2,56	0,94	9,36	5	46,06	OK	
										0,90								
										3								
B-C	2,4	0,46	28	23	1,12	OK	0,51	0,63906	0,90	1,41	0,90	0,00	0,00	5	45,16	OK		
									3,1									
									14,23									
C-D	0,7	0,25	28	23	0,60	OK	7,83	0,20444	3,1	14,23	2,91	-3,44	-34,36	5	7,89	OK		
									0,5									
									3,33									
D-LAV	0,3	0,16	22	18	0,65	OK	1,63	0,30805	1,2	3,33	1,03	0,00	0,00	5	6,87	OK		
									1,5									
									3,33									

(Fonte: Autoria própria)

Tabela 50 – Verificação das pressões de água quente no sistema de passagem a gás para o banheiro suíte

Ambiente	Ponto de Uso	Trecho	ΣP	Q (L/s)	D (mm)	Di (mm)	V (m/s)	Verificação V<3 m/s	L Real (m)	J linear (kPa/m)	L equivalente (m)	L total (m)	J total (kPa)	Δh (m)	Pressão disponível (kPa)	Pressão requerida (kPa)	Pressão disponível residual (kPa)	Verificação Pressão
Banheiro Suíte	Chuveiro	AQC-A	4,4	0,63	28	23	1,51	OK	0,26	1,11954	1,5	2,96	3,31	0,40	4,00	5	39,26	OK
											0,30							
											0,90							
		A-B	3,4	0,55	28	23	1,33	OK	1,10	0,88199	0,30	2,90	2,56	0,94	9,36	5	46,06	OK
											0,6							
											0,90							
	B-C	1	0,30	28	23	0,72	OK	4,30	0,28435	1,5	6,70	1,91	0,00	0,00	5	44,15	OK	
										0,90								
										2,4								
	C-D	0,7	0,25	28	23	0,60	OK	5,29	0,20444	0,30	11,09	2,27	-4,14	-41,36	5	0,53	NÃO OK	
										3,1								
	D-E	0,7	0,25	28	23	0,60	OK	0,17	0,20444	3,1	3,27	0,67	0,20	2,00	5	1,86	NÃO OK	
										0,20								
	E-CH	0,4	0,19	22	18	0,75	OK	1,03	0,40197	2,4	4,83	1,94	-1,00	-10,00	15	-10,08	NÃO OK	
1,2																		
Banheiro Suíte	Lavatório	AQC-A	4,4	0,63	28	23	1,51	OK	0,26	1,11954	1,5	2,96	3,31	0,40	4,00	5	39,26	OK
											0,30							
											0,90							
		A-B	3,4	0,55	28	23	1,33	OK	1,10	0,88199	0,30	2,90	2,56	0,94	9,36	5	46,06	OK
											0,6							
											0,90							
	B-C	1	0,30	28	23	0,72	OK	4,30	0,28435	1,5	6,70	1,91	0,00	0,00	5	44,15	OK	
										0,90								
										2,4								
	C-D	0,7	0,25	28	23	0,60	OK	5,29	0,20444	0,30	11,09	2,27	-4,14	-41,36	5	0,53	NÃO OK	
										3,1								
	D-E	0,7	0,25	22	18	0,99	OK	5,29	0,67453	0,8	6,09	4,11	0,20	2,00	5	-1,58	NÃO OK	
										3,1								
	E-F	0,3	0,16	22	18	0,65	OK	0,17	0,30805	2,4	2,57	0,79	0,50	5,00	5	2,63	NÃO OK	
1																		
F-LAV	0,3	0,16	22	18	0,65	OK	1,71	0,30805	1,2	3,91	1,20	0,00	0,00	5	1,43	NÃO OK		
									1,2									

(Fonte: Autoria própria)

Tabela 51 – Verificação das pressões de água quente no sistema de passagem a gás para a cozinha

Ambiente	Ponto de Uso	Trecho	ΣP	Q (L/s)	D (mm)	Di (mm)	V (m/s)	Verificação V<3 m/s	L Real (m)	J linear (kPa/m)	L equivalente (m)	L total (m)	J total (kPa)	Δh (m)	Pressão disponível (kPa)	Pressão requerida (kPa)	Pressão disponível residual (kPa)	Verificação Pressão
Cozinha	Pia	AQC-A	4,4	0,63	28	23	1,51	OK	0,26	1,11954	1,5	2,96	3,31	0,40	4,00	5	39,26	OK
											0,30							
											0,90							
		A-B	3,4	0,55	28	23	1,33	OK	1,10	0,88199	0,30	2,90	2,56	0,94	9,36	5	46,06	OK
											0,6							
											0,90							
	B-C	2,4	0,46	28	23	1,12	OK	0,51	0,63906	3,1	3,61	2,31	0,00	0,00	5	43,75	OK	
										1,5								
										0,30								
	C-D	1,7	0,39	28	23	0,94	OK	3,49	0,46453	3,1	8,39	3,90	-0,74	-7,36	5	32,50	OK	
										0,30								
										3,1								
	D-E	1,7	0,39	28	23	0,94	OK	0,74	0,46453	3,1	3,84	1,78	0,00	0,00	5	30,71	OK	
										0,90								
E-PIA	0,7	0,25	22	18	0,99	OK	0,07	0,67453	1,2	1,27	0,86	0,10	1,00	5	30,86	OK		
Máquina de Lavar Louças	AQC-A	4,4	0,63	28	23	1,51	OK	0,26	1,11954	1,5	2,96	3,31	0,40	4,00	5	39,26	OK	
										0,30								
										0,90								
	A-B	3,4	0,55	28	23	1,33	OK	1,10	0,88199	0,30	2,90	2,56	0,94	9,36	5	46,06	OK	
										0,6								
										0,90								
	B-C	2,4	0,46	28	23	1,12	OK	0,51	0,63906	3,1	3,61	2,31	0,00	0,00	5	43,75	OK	
										1,5								
										0,30								
	C-D	1,7	0,39	28	23	0,94	OK	3,49	0,46453	3,1	8,39	3,90	-0,74	-7,36	5	32,50	OK	
0,30																		
3,1																		
D-E	1,7	0,39	28	23	0,94	OK	0,74	0,46453	0,90	1,64	0,76	0,00	0,00	5	31,74	OK		
									2,4									
E-MLL	1	0,30	22	18	1,18	OK	0,98	0,93818	0,5	3,88	3,64	0,10	1,00	5	29,10	OK		

(Fonte: Autoria própria)

Tabela 52 – Verificação das pressões de água quente no sistema de passagem a gás para o lavabo

Ambiente	Ponto de Uso	Trecho	ΣP	Q (L/s)	D (mm)	Di (mm)	V (m/s)	Verificação V<3 m/s	L Real (m)	J linear (kPa/m)	L equivalente (m)	L total (m)	J total (kPa)	Δh (m)	Pressão disponível (kPa)	Pressão requerida (kPa)	Pressão disponível residual (kPa)	Verificação Pressão
Lavabo	Lavatório	AQC-A	4,4	0,63	28	23	1,51	OK	0,26	1,11954	1,5	2,96	3,31	0,40	4,00	5	39,26	OK
											0,30							
											0,90							
		A-B	3,4	0,55	28	23	1,33	OK	1,10	0,88199	0,30	2,90	2,56	0,94	9,36	5	46,06	OK
											0,6							
											0,90							
		B-C	1	0,30	28	23	0,72	OK	4,30	0,28435	1,5	6,70	1,91	0,00	0,00	5	44,15	OK
											0,90							
		C-D	0,3	0,16	28	23	0,40	OK	0,46	0,09336	0,30	3,86	0,36	-0,64	-6,36	5	37,44	OK
											3,1							
		D-LAV	0,3	0,16	22	18	0,65	OK	1,72	0,30805	0,5	3,42	1,05	0,00	0,00	5	36,38	OK
											1,2							

(Fonte: Autoria própria)

Tabela 53 – Verificação das pressões de água quente no sistema de passagem a gás para a área de serviço

Ambiente	Ponto de Uso	Trecho	ΣP	Q (L/s)	D (mm)	Di (mm)	V (m/s)	Verificação V<3 m/s	L Real (m)	J linear (kPa/m)	L equivalente (m)	L total (m)	J total (kPa)	Δh (m)	Pressão disponível (kPa)	Pressão requerida (kPa)	Pressão disponível residual (kPa)	Verificação Pressão
Área de Serviço	Máquina de Lavar Roupas	AQC-A	4,4	0,63	28	23	1,51	OK	0,26	1,11954	1,5	5,16	5,78	0,40	4,00	5	36,80	OK
											0,30							
											3,1							
		A-MLL	1	0,30	22	18	1,18	OK	1,98	0,93818	0,80	3,98	3,73	0,00	0,00	5	33,06	OK
										1,2								

(Fonte: Autoria própria)

Para solucionar a questão das pressões insuficientes, a única alternativa é colocar um pressurizador de 30 kPa visto que é impossível elevar o reservatório de água fria, o boiler e as placas por limitações arquitetônicas. As tabelas 55, 56, 57, 58 e 59 demonstram o cálculo de verificação das pressões para cada ambiente com a colocação do pressurizador, assim como as figuras 20, 21, 22, 23 e 24 exibem, para cada ambiente, o caminho das tubulações e seus diâmetros.

É importante salientar que, para o cálculo das perdas de carga localizada nas tubulações de CPVC, foi utilizada a tabela do anexo A em conjunto com a tabela 54, de Veról et al (2019), que mostra a correlação entre diâmetros de PVC e CPVC.

Tabela 54 – Correlação entre diâmetros de água fria (PVC) e água quente (CPVC)

D referência	Água fria (PVC)			Água quente (CPVC)		
	DN	DI	DE	DN	DI	DE
(pol)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
½"	15	17	20	15	11,8	15
¾"	20	21,6	25	22	18	22
1"	25	27,8	32	28	23,1	28,1
1 ¼"	32	35,2	40	35	28,4	34,8
1 ½"	40	44	50	42	33,6	41,2
2"	50	53,4	60	54	44,1	53,9
2 ½"	65	66,6	75	73	59,9	73,1
3"	75	75,6	85	89	72,8	89
4"	100	97,8	110	114	93,6	114,4

(Fonte: VEROL et al, 2019)

Tabela 55 – Verificação das pressões de água quente no sistema de passagem a gás para o banheiro social com pressurizador

Ambiente	Ponto de Uso	Trecho	ΣP	Q (L/s)	D (mm)	Di (m)	V (m/s)	Verificação V<3 m/s	L Real (m)	J linear (kPa/m)	L equivalente (m)	L total (m)	J total (kPa)	Δh (m)	Pressão disponível (kPa)	Pressão requerida (kPa)	Pressão disponível residual (kPa)	Verificação Pressão
Banheiro Social	Chuveiro	AQC-A	4,4	0,63	28	23	1,51	OK	0,26	1,11954	1,5	2,96	3,31	0,40	4,00	5	69,26	OK
											0,30							
											0,90							
		A-B	3,4	0,55	28	23	1,33	OK	1,10	0,88199	0,30	2,90	2,56	0,94	9,36	5	76,06	OK
											0,6							
											0,90							
	B-C	2,4	0,46	28	23	1,12	OK	0,51	0,63906	0,90	1,41	0,90	0,00	0,00	5	75,16	OK	
										3								
	C-D	0,7	0,25	28	23	0,60	OK	7,83	0,20444	0,30	12,03	2,46	-3,44	-34,36	5	38,34	OK	
										0,90								
	D-E	0,4	0,19	28	23	0,46	OK	0,47	0,12183	3,1	3,57	0,43	-0,50	-5,00	5	32,91	OK	
										0,20								
	E-CH	0,4	0,19	22	18	0,75	OK	1,03	0,40197	2,4	4,83	1,94	-1,00	-10,00	15	20,96	OK	
										1,2								
Lavatório	AQC-A	4,4	0,63	28	23	1,51	OK	0,26	1,11954	1,5	2,96	3,31	0,40	4,00	5	69,26	OK	
										0,30								
										0,90								
	A-B	3,4	0,55	28	23	1,33	OK	1,10	0,88199	0,30	2,90	2,56	0,94	9,36	5	76,06	OK	
										0,6								
										0,90								
B-C	2,4	0,46	28	23	1,12	OK	0,51	0,63906	0,90	1,41	0,90	0,00	0,00	5	75,16	OK		
									3									
C-D	0,7	0,25	28	23	0,60	OK	7,83	0,20444	0,30	14,23	2,91	-3,44	-34,36	5	37,89	OK		
									3,1									
D-LAV	0,3	0,16	22	18	0,65	OK	1,63	0,30805	0,5	3,33	1,03	0,00	0,00	5	36,87	OK		
									1,2									

(Fonte: Autoria própria)

Tabela 56 – Verificação das pressões de água quente no sistema de passagem a gás para o banheiro suíte com pressurizador

Ambiente	Ponto de Uso	Trecho	ΣP	Q (L/s)	D (mm)	Di (mm)	V (m/s)	Verificação V<3 m/s	L Real (m)	J linear (kPa/m)	L equivalente (m)	L total (m)	J total (kPa)	Δh (m)	Pressão disponível (kPa)	Pressão requerida (kPa)	Pressão disponível residual (kPa)	Verificação Pressão
Banheiro Suíte	Chuveiro	AQC-A	4,4	0,63	28	23	1,51	OK	0,26	1,11954	1,5	2,96	3,31	0,40	4,00	5	69,26	OK
											0,30							
											0,90							
		A-B	3,4	0,55	28	23	1,33	OK	1,10	0,88199	0,30	2,90	2,56	0,94	9,36	5	76,06	OK
											0,6							
											0,90							
	B-C	1	0,30	28	23	0,72	OK	4,30	0,28435	1,5	6,70	1,91	0,00	0,00	5	74,15	OK	
										0,90								
										2,4								
	C-D	0,7	0,25	28	23	0,60	OK	5,29	0,20444	0,30	11,09	2,27	-4,14	-41,36	5	30,53	OK	
										3,1								
										0,20								
	D-E	0,7	0,25	28	23	0,60	OK	0,17	0,20444	3,1	3,27	0,67	0,20	2,00	5	31,86	OK	
										0,20								
2,4																		
E-CH	0,4	0,19	22	18	0,75	OK	1,03	0,40197	1,2	4,83	1,94	-1,00	-10,00	15	19,92	OK		
									1,5									
									0,30									
Lavatório	AQC-A	4,4	0,63	28	23	1,51	OK	0,26	1,11954	1,5	2,96	3,31	0,40	4,00	5	69,26	OK	
										0,30								
										0,90								
	A-B	3,4	0,55	28	23	1,33	OK	1,10	0,88199	0,30	2,90	2,56	0,94	9,36	5	76,06	OK	
										0,6								
										0,90								
	B-C	1	0,30	28	23	0,72	OK	4,30	0,28435	1,5	6,70	1,91	0,00	0,00	5	74,15	OK	
										0,90								
2,4																		
C-D	0,7	0,25	28	23	0,60	OK	5,29	0,20444	0,30	11,09	2,27	-4,14	-41,36	5	30,53	OK		
									3,1									
									0,20									
D-E	0,7	0,25	22	18	0,99	OK	5,29	0,67453	0,8	6,09	4,11	0,20	2,00	5	28,42	OK		
									0,8									
									2,4									
E-F	0,3	0,16	22	18	0,65	OK	0,17	0,30805	2,4	2,57	0,79	0,50	5,00	5	32,63	OK		
									1									
F-LAV	0,3	0,16	22	18	0,65	OK	1,71	0,30805	1,2	3,91	1,20	0,00	0,00	5	31,43	OK		
									1,2									

(Fonte: Autoria própria)

Tabela 57 – Verificação das pressões de água quente no sistema de passagem a gás para a cozinha com pressurizador

Ambiente	Ponto de Uso	Trecho	ΣP	Q (L/s)	D (mm)	Di (mm)	V (m/s)	Verificação V<3 m/s	L Real (m)	J linear (kPa/m)	L equivalente (m)	L total (m)	J total (kPa)	Δh (m)	Pressão disponível (kPa)	Pressão requerida (kPa)	Pressão disponível residual (kPa)	Verificação Pressão
Cozinha	Pia	AQC-A	4,4	0,63	28	23	1,51	OK	0,26	1,11954	1,5	2,96	3,31	0,40	4,00	5	69,26	OK
											0,30							
											0,90							
		A-B	3,4	0,55	28	23	1,33	OK	1,10	0,88199	0,30	2,90	2,56	0,94	9,36	5	76,06	OK
											0,6							
											0,90							
	B-C	2,4	0,46	28	23	1,12	OK	0,51	0,63906	3,1	3,61	2,31	0,00	0,00	5	73,75	OK	
										1,5								
	C-D	1,7	0,39	28	23	0,94	OK	3,49	0,46453	0,30	8,39	3,90	-0,74	-7,36	5	62,50	OK	
										3,1								
	D-E	1,7	0,39	28	23	0,94	OK	0,74	0,46453	3,1	3,84	1,78	0,00	0,00	5	60,71	OK	
	E-PIA	0,7	0,25	22	18	0,99	OK	0,07	0,67453	1,2	1,27	0,86	0,10	1,00	5	60,86	OK	
	Máquina de Lavar Louças	AQC-A	4,4	0,63	28	23	1,51	OK	0,26	1,11954	1,5	2,96	3,31	0,40	4,00	5	69,26	OK
											0,30							
0,90																		
A-B		3,4	0,55	28	23	1,33	OK	1,10	0,88199	0,30	2,90	2,56	0,94	9,36	5	76,06	OK	
										0,6								
										0,90								
B-C		2,4	0,46	28	23	1,12	OK	0,51	0,63906	3,1	3,61	2,31	0,00	0,00	5	73,75	OK	
										1,5								
C-D	1,7	0,39	28	23	0,94	OK	3,49	0,46453	0,30	8,39	3,90	-0,74	-7,36	5	62,50	OK		
									3,1									
D-E	1,7	0,39	28	23	0,94	OK	0,74	0,46453	0,90	1,64	0,76	0,00	0,00	5	61,74	OK		
E-MLL	1	0,30	22	18	1,18	OK	0,98	0,93818	0,5	3,88	3,64	0,10	1,00	5	59,10	OK		
											2,4							

(Fonte: Autoria própria)

Tabela 58 – Verificação das pressões de água quente no sistema de passagem a gás para o lavabo com pressurizador

Ambiente	Ponto de Uso	Trecho	ΣP	Q (L/s)	D (mm)	Di (mm)	V (m/s)	Verificação V<3 m/s	L Real (m)	J linear (kPa/m)	L equivalente (m)	L total (m)	J total (kPa)	Δh (m)	Pressão disponível (kPa)	Pressão requerida (kPa)	Pressão disponível residual (kPa)	Verificação Pressão
Lavabo	Lavatório	AQC-A	4,4	0,63	28	23	1,51	OK	0,26	1,11954	1,5	2,96	3,31	0,40	4,00	5	69,26	OK
											0,30							
											0,90							
		A-B	3,4	0,55	28	23	1,33	OK	1,10	0,88199	0,30	2,90	2,56	0,94	9,36	5	76,06	OK
											0,6							
											0,90							
		B-C	1	0,30	28	23	0,72	OK	4,30	0,28435	1,5	6,70	1,91	0,00	0,00	5	74,15	OK
											0,90							
		C-D	0,3	0,16	28	23	0,40	OK	0,46	0,09336	0,30	3,86	0,36	-0,64	-6,36	5	67,44	OK
											3,1							
		D-LAV	0,3	0,16	22	18	0,65	OK	1,72	0,30805	0,5	3,42	1,05	0,00	0,00	5	66,38	OK
											1,2							

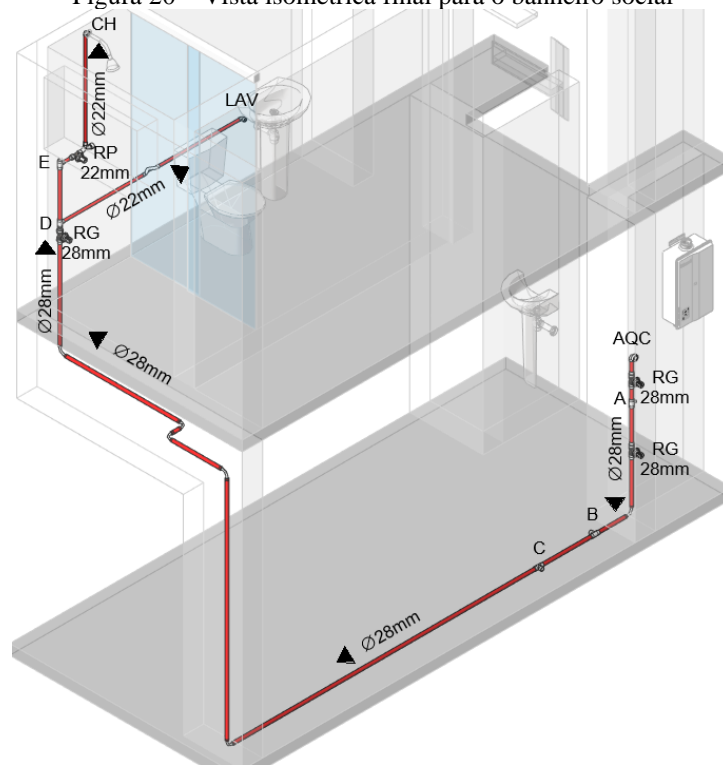
(Fonte: Autoria própria)

Tabela 59 – Verificação das pressões de água quente no sistema de passagem a gás para a área de serviço com pressurizador

Ambiente	Ponto de Uso	Trecho	ΣP	Q (L/s)	D (mm)	Di (mm)	V (m/s)	Verificação V<3 m/s	L Real (m)	J linear (kPa/m)	L equivalente (m)	L total (m)	J total (kPa)	Δh (m)	Pressão disponível (kPa)	Pressão requerida (kPa)	Pressão disponível residual (kPa)	Verificação Pressão
Área de Serviço	Máquina de Lavar Roupas	AQC-A	4,4	0,63	28	23	1,51	OK	0,26	1,11954	1,5	5,16	5,78	0,40	4,00	5	66,80	OK
											0,30							
											3,1							
		A-MLL	1	0,30	22	18	1,18	OK	1,98	0,93818	0,80	3,98	3,73	0,00	0,00	5	63,06	OK
										1,2								

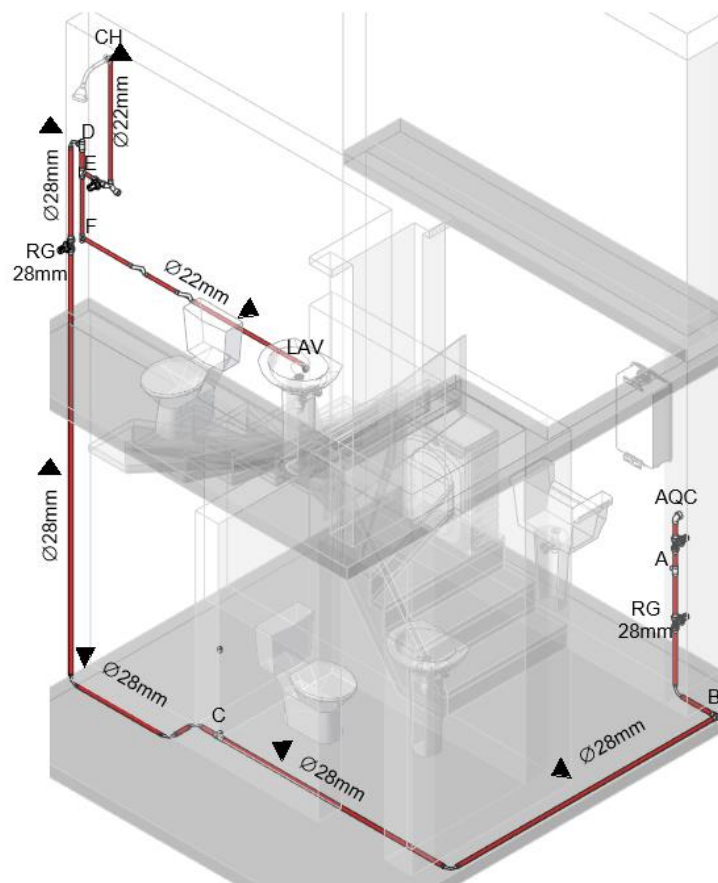
(Fonte: Autoria própria)

Figura 20 – Vista isométrica final para o banheiro social



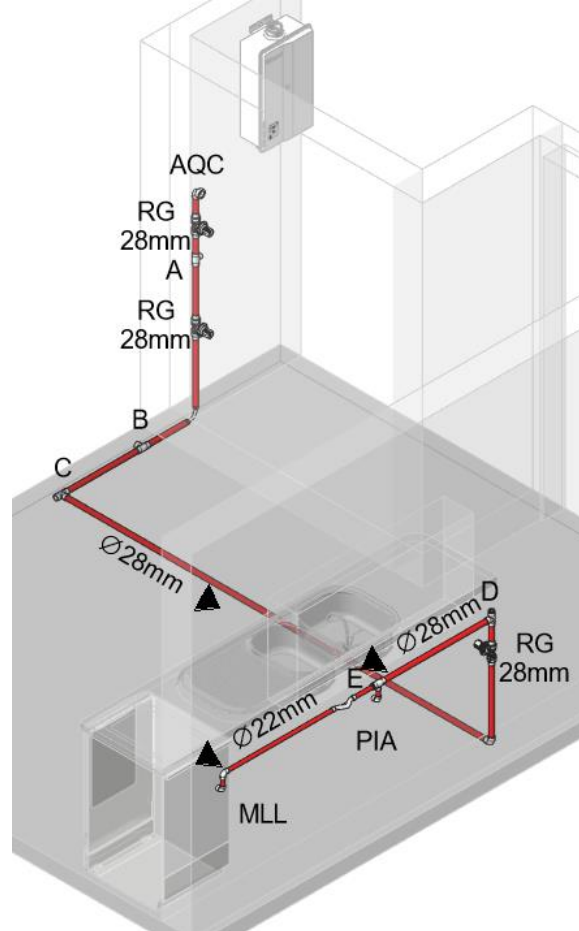
(Fonte: Autoria própria)

Figura 21 – Vista isométrica final para o banheiro suíte



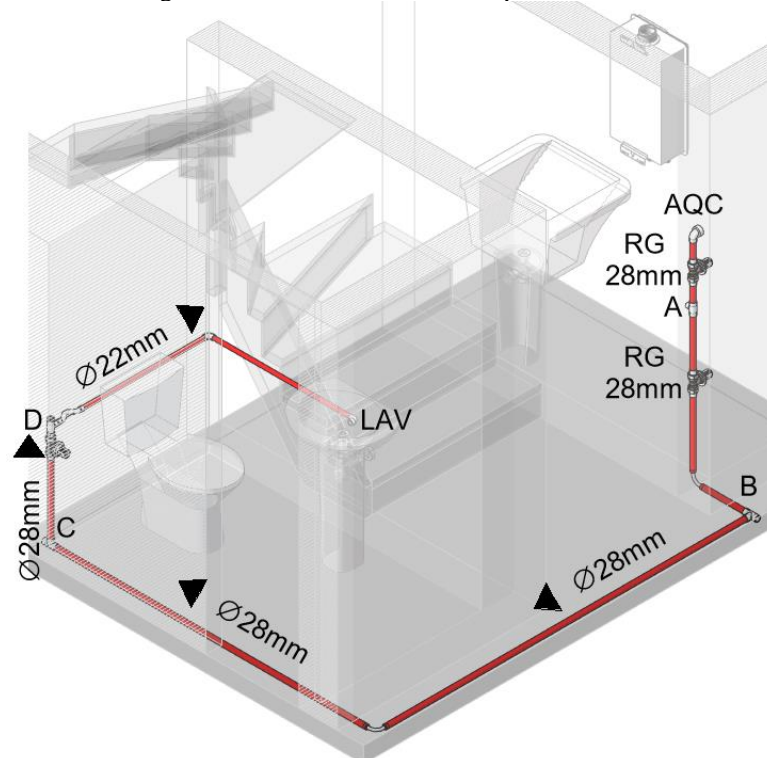
(Fonte: Autoria própria)

Figura 22 – Vista isométrica final para a cozinha



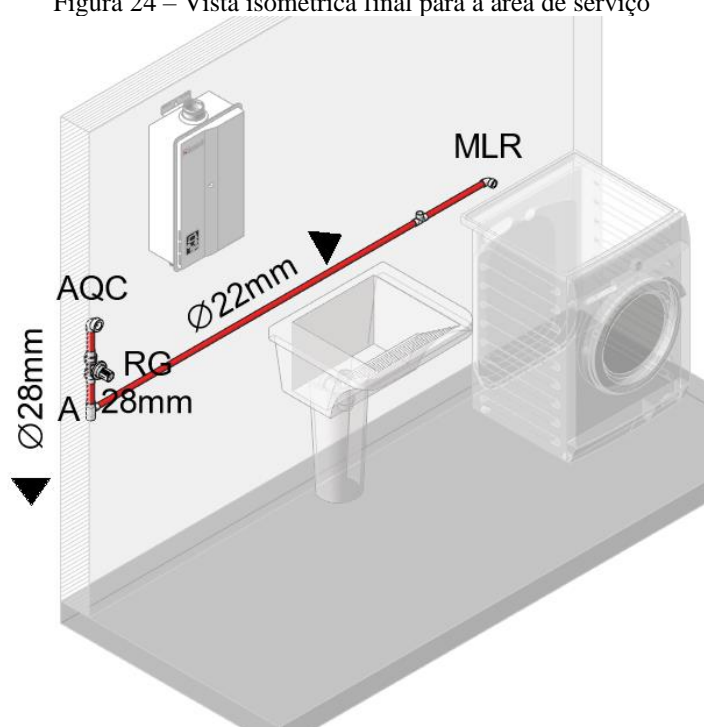
(Fonte: Autoria própria)

Figura 23 – Vista isométrica final para o lavabo



(Fonte: Autoria própria)

Figura 24 – Vista isométrica final para a área de serviço



(Fonte: Autoria própria)

5.2.5 Dimensionamento das tubulações de distribuição do sistema de aquecimento solar

As pressões insuficientes dos tubos do sistema de aquecimento solar foram solucionadas com o simples aumento do diâmetro de algumas tubulações. Isso pôde ser feito ao invés de usar pressurizador devido ao fato de o sistema ser por gravidade, não necessitando elevar a água para andares superiores, como é visto no sistema de aquecimento a gás. O resultado está exibido nas tabelas 60, 61, 62, 63 e 64 para cada ambiente, bem como nas figuras 25, 26, 27, 28 e 29.

Tabela 60 – Verificação das pressões de água quente no sistema solar para o banheiro social com aumento do diâmetro dos tubos

Ambiente	Ponto de Uso	Trecho	ΣP	Q (L/s)	D (mm)	Di (m)	V (m/s)	Verificação V<3 m/s	L Real (m)	J linear (kPa/m)	L equivalente (m)	L total (m)	J total (kPa)	Δh (m)	Pressão disponível (kPa)	Pressão requerida (kPa)	Pressão disponível residual (kPa)	Verificação Pressão
Banheiro Social	Chuveiro	RES-A	4,4	0,63	73	59,9	0,22	OK	2,20	0,01058	7,4	18,30	0,19	1,10	10,95	5	10,76	OK
											0,90							
											7,8							
		A-B	3,4	0,55	54	44,1	0,36	OK	0,88	0,03704	2,30	3,18	0,12	0,00	0,00	5	10,64	OK
		B-C	2,4	0,46	35	33,6	0,52	OK	2,59	0,10090	1,50	4,09	0,41	0,00	0,00	5	10,23	OK
		C-D	0,7	0,25	35	33,6	0,28	OK	5,03	0,03228	4	9,03	0,29	0,00	0,00	5	9,93	OK
	D-E	0,7	0,25	28	23	0,60	OK	1,72	0,20444	3,1	5,12	1,05	1,86	18,55	5	27,44	OK	
	0,30																	
	E-CH	0,4	0,19	22	18	0,75	OK	1,03	0,40197	0,20	4,83	1,94	-1,00	-10,00	15	15,50	OK	
										2,4								
	Lavatório	RES-A	4,4	0,63	73	59,9	0,22	OK	2,20	0,01058	7,4	18,30	0,19	1,10	10,95	5	10,76	OK
											0,90							
											7,8							
		A-B	3,4	0,55	54	44,1	0,36	OK	0,88	0,03704	2,30	3,18	0,12	0,00	0,00	5	10,64	OK
B-C		2,4	0,46	35	33,6	0,52	OK	2,59	0,10090	1,50	4,09	0,41	0,00	0,00	5	10,23	OK	
C-D		0,7	0,25	35	33,6	0,28	OK	5,03	0,03228	4	9,03	0,29	0,00	0,00	5	9,93	OK	
D-E		0,7	0,25	28	23	0,60	OK	1,72	0,20444	0,90	2,92	0,60	1,86	18,55	5	27,89	OK	
										0,30								
E-F	0,3	0,16	28	23	0,40	OK	0,46	0,09336	3,1	3,56	0,33	0,50	5,00	5	32,56	OK		
F-LAV	0,3	0,16	22	18	0,65	OK	1,63	0,30805	0,5	3,33	1,03	0,00	0,00	5	31,53	OK		
									1,2									

(Fonte: Autoria própria)

Tabela 61 – Verificação das pressões de água quente no sistema solar para o banheiro suíte com aumento do diâmetro dos tubos

Ambiente	Ponto de Uso	Trecho	ΣP	Q (L/s)	D (mm)	Di (mm)	V (m/s)	Verificação V<3 m/s	L Real (m)	J linear (kPa/m)	L equivalente (m)	L total (m)	J total (kPa)	Δh (m)	Pressão disponível (kPa)	Pressão requerida (kPa)	Pressão disponível residual (kPa)	Verificação Pressão
Banheiro Suíte	Chuveiro	RES-A	4,4	0,63	73	59,9	0,22	OK	2,20	0,01058	7,4	12,90	0,14	1,10	10,95	5	10,81	OK
											0,90							
											2,4							
		A-B	1	0,30	35	33,6	0,34	OK	2,94	0,04489	2	4,94	0,22	0,00	0,00	5	10,59	OK
											0,90							
											0,30							
	B-C	1	0,30	28	23	0,72	OK	1,48	0,28435	3,1	3,26	0,93	0,20	2,00	5	27,45	OK	
										0,20								
										0,30								
	C-D	1	0,30	28	23	0,72	OK	0,16	0,28435	0,20	4,83	1,94	-1,00	-10,00	15	15,51	OK	
										2,4								
										1,2								
	Lavatório	RES-A	4,4	0,63	42	44,1	0,41	OK	2,20	0,04702	4	11,20	0,53	1,10	10,95	5	10,42	OK
											0,40							
4,6																		
A-B		1	0,30	35	33,6	0,34	OK	2,94	0,04489	2	4,94	0,22	0,00	0,00	5	10,20	OK	
										0,90								
										0,30								
B-C		1	0,30	28	23	0,72	OK	1,48	0,28435	0,8	0,96	0,27	0,20	2,00	5	27,72	OK	
										0,30								
	2,4																	
D-E	0,6	0,23	22	18	0,91	OK	0,45	0,58489	1	3,91	1,20	0,00	0,00	5	28,12	OK		
									1,2									

(Fonte: Autoria própria)

Tabela 62 – Verificação das pressões de água quente no sistema solar para a cozinha com aumento do diâmetro dos tubos

Ambiente	Ponto de Uso	Trecho	ΣP	Q (L/s)	D (mm)	Di (mm)	V (m/s)	Verificação V<3 m/s	L Real (m)	J linear (kPa/m)	L equivalente (m)	L total (m)	J total (kPa)	Δh (m)	Pressão disponível (kPa)	Pressão requerida (kPa)	Pressão disponível residual (kPa)	Verificação Pressão
Cozinha	Pia	RES-A	4,4	0,63	73	59,9	0,22	OK	2,20	0,01058	7,4	18,30	0,19	1,10	10,95	5	10,76	OK
											0,90							
											7,8							
		A-B	3,4	0,55	54	44,1	0,36	OK	0,88	0,03704	2,30	3,18	0,12	0,00	0,00	5	10,64	OK
		B-C	2,4	0,46	35	33,6	0,52	OK	2,59	0,10090	4,60	7,19	0,73	0,00	0,00	5	9,91	OK
		C-D	1,7	0,39	28	23	0,94	OK	7,37	0,46453	1,5	12,27	5,70	5,06	50,55	5	54,76	OK
											0,30							
	D-E	1,7	0,39	28	23	0,94	OK	0,74	0,46453	3,1	3,84	1,78	0,00	0,00	5	52,98	OK	
	E-PIA	0,7	0,25	22	18	0,99	OK	0,07	0,67453	1,2	1,27	0,86	0,10	1,00	5	53,12	OK	
	Máquina de Lavar Louças	RES-A	4,4	0,63	73	59,9	0,22	OK	2,20	0,01058	7,4	18,30	0,19	1,10	10,95	5	10,76	OK
											0,90							
											7,8							
		A-B	3,4	0,55	54	44,1	0,36	OK	0,88	0,03704	2,30	3,18	0,12	0,00	0,00	5	10,64	OK
		B-C	2,4	0,46	35	33,6	0,52	OK	2,59	0,10090	4,60	7,19	0,73	0,00	0,00	5	9,91	OK
C-D		1,7	0,39	28	23	0,94	OK	7,37	0,46453	1,5	12,27	5,70	5,06	50,55	5	54,76	OK	
										0,30								
D-E	1,7	0,39	28	23	0,94	OK	0,74	0,46453	0,90	1,64	0,76	0,00	0,00	5	54,00	OK		
E-MLL	1	0,30	22	18	1,18	OK	0,98	0,93818	0,5	3,88	3,64	0,10	1,00	5	51,36	OK		
									2,4									

(Fonte: Autoria própria)

Tabela 63 – Verificação das pressões de água quente no sistema solar para o lavabo com aumento do diâmetro dos tubos

Ambiente	Ponto de Uso	Trecho	ΣP	Q (L/s)	D (mm)	Di (mm)	V (m/s)	Verificação V<3 m/s	L Real (m)	J linear (kPa/m)	L equivalente (m)	L total (m)	J total (kPa)	Δh (m)	Pressão disponível (kPa)	Pressão requerida (kPa)	Pressão disponível residual (kPa)	Verificação Pressão
Lavabo	Lavatório	RES-A	4,4	0,63	73	59,9	0,22	OK	2,20	0,01058	7,4	12,90	0,14	1,10	10,95	5	10,81	OK
											0,90							
											2,4							
		A-B	1	0,30	35	33,6	0,34	OK	2,94	0,04489	2	4,94	0,22	0,00	0,00	5	10,59	OK
		B-C	1	0,30	28	23	0,72	OK	1,48	0,28435	0,90	2,68	0,76	1,66	16,55	5	26,38	OK
		0,30																
		C-D	1	0,30	28	23	0,72	OK	0,16	0,28435	0,8	0,96	0,27	0,20	2,00	5	28,11	OK
		D-E	0,6	0,23	22	18	0,91	OK	0,45	0,58489	0,8	1,25	0,73	0,50	5,00	5	32,38	OK
		E-F	0,3	0,16	22	18	0,65	OK	3,64	0,30805	0,20	11,04	3,40	2,80	28,00	5	56,97	OK
											3,1							
3,6																		
D-LAV	0,3	0,16	22	18	0,65	OK	1,72	0,30805	0,5	4,62	1,42	0,00	0,00	5	55,55	OK		
2,4																		

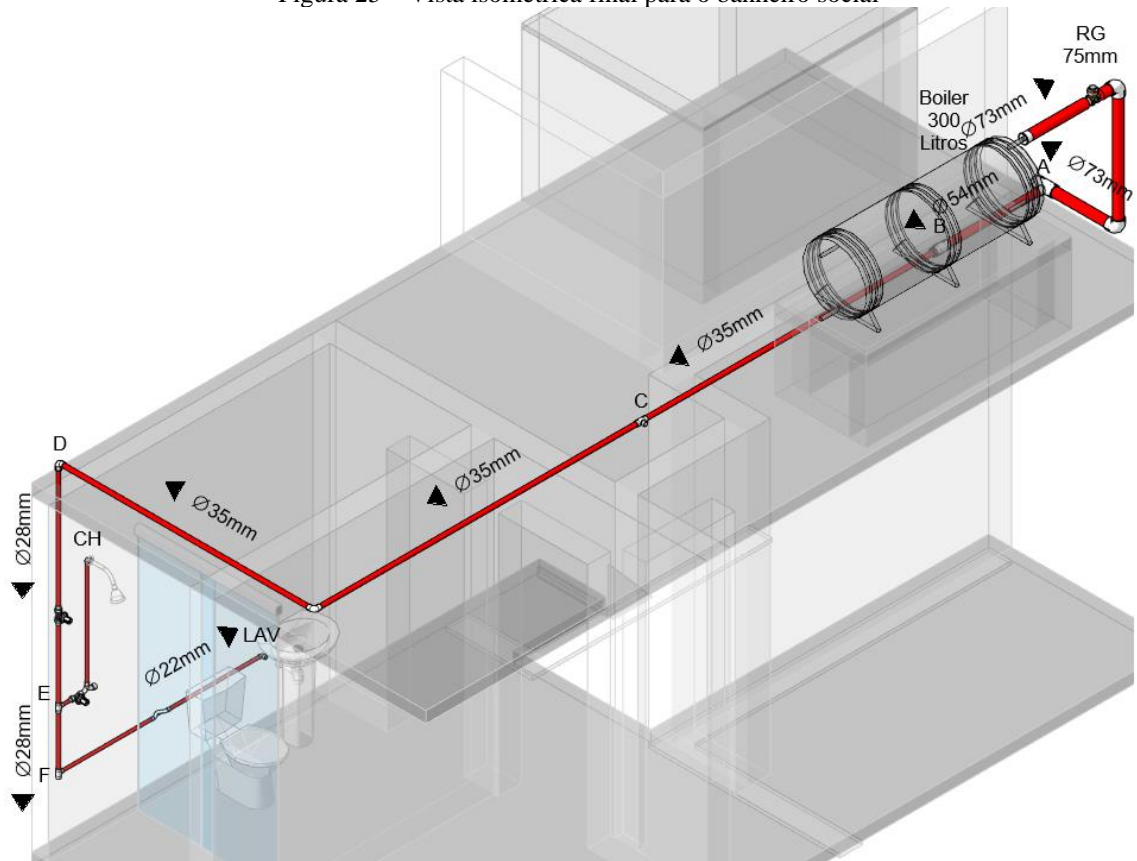
(Fonte: Autoria própria)

Tabela 64 – Verificação das pressões de água quente no sistema solar para a área de serviço com aumento do diâmetro dos tubos

Ambiente	Ponto de Uso	Trecho	ΣP	Q (L/s)	D (mm)	Di (mm)	V (m/s)	Verificação V<3 m/s	L Real (m)	J linear (kPa/m)	L equivalente (m)	L total (m)	J total (kPa)	Δh (m)	Pressão disponível (kPa)	Pressão requerida (kPa)	Pressão disponível residual (kPa)	Verificação Pressão	
Área de Serviço	Máquina de Lavar Roupas	RES-A	4,4	0,63	73	59,9	0,22	OK	2,20	0,01058	7,4	18,30	0,19	1,10	10,95	5	10,76	OK	
											0,90								
		A-B	3,4	0,55	54	44,1	0,36	OK	0,88	0,03704	7,8	7,60	8,48	0,31	0,00	0,00	5	10,44	OK
		1,2																	
		B-C	1	0,30	22	18	1,18	OK	4,96	0,93818	0,20	9,26	8,69	4,86	48,55	5	50,30	OK	
0,5																			
C-MLL	1	0,30	22	18	1,18	OK	0,32	0,93818	2,4	1,2	1,52	1,43	0,00	0,00	5	48,88	OK		

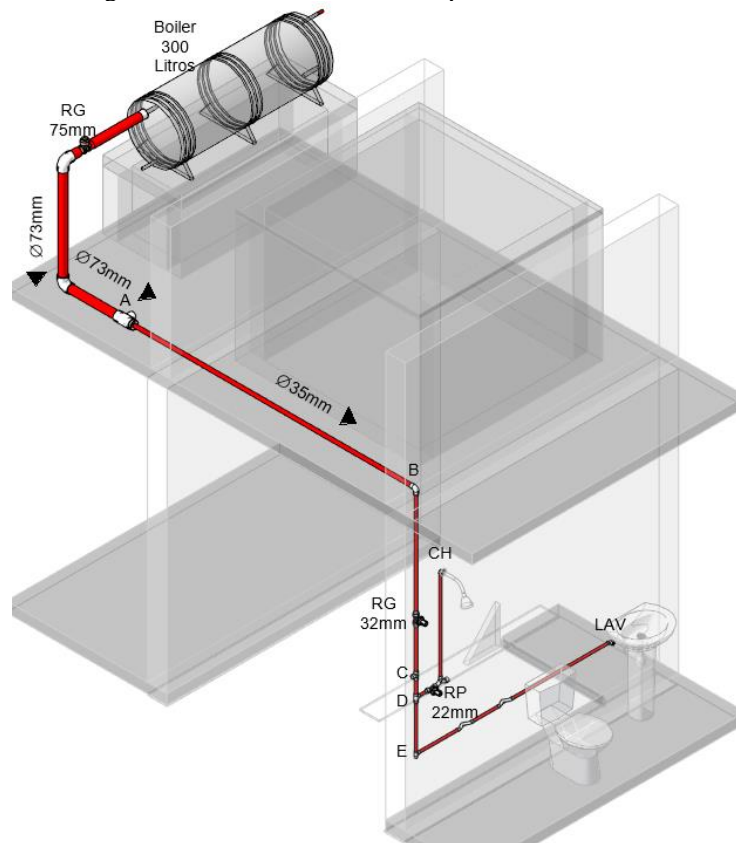
(Fonte: Autoria própria)

Figura 25 – Vista isométrica final para o banheiro social



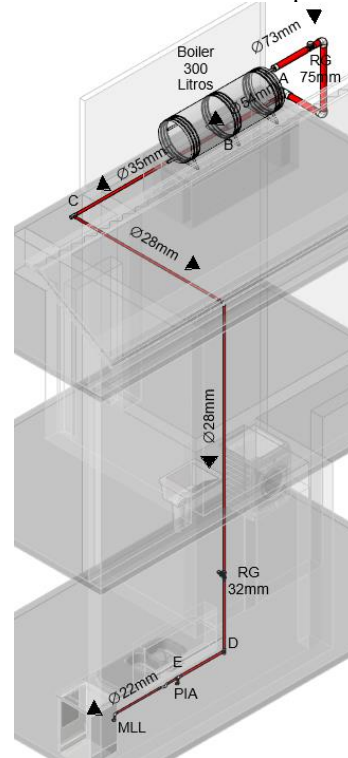
(Fonte: Autoria própria)

Figura 26 – Vista isométrica final para o banheiro suíte



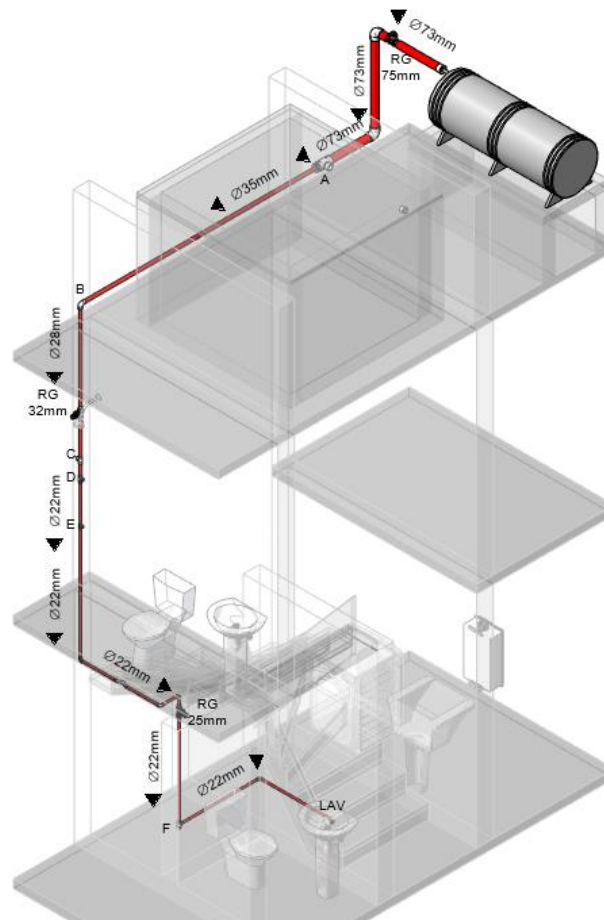
(Fonte: Autoria própria)

Figura 27 – Vista isométrica final para a cozinha



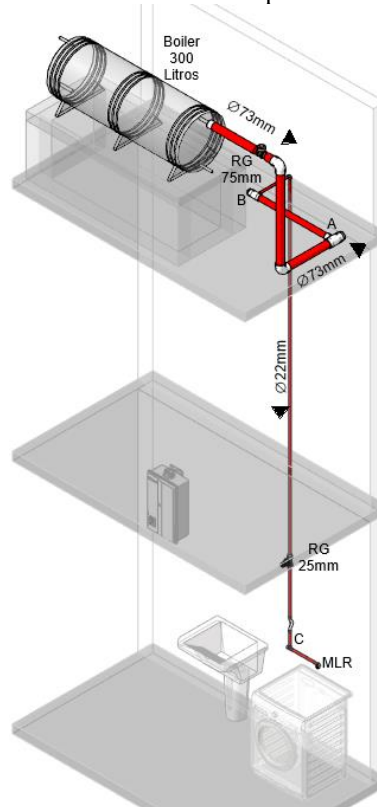
(Fonte: Autoria própria)

Figura 28 – Vista isométrica final para o lavabo



(Fonte: Autoria própria)

Figura 29 – Vista isométrica final para a área de serviço



(Fonte: Autoria própria)

5.3 INSTALAÇÕES DE ESGOTO SANITÁRIO

5.3.1 Dimensionamento de dispositivos complementares

O dimensionamento das caixas sifonadas foi realizado pelo somatório das contribuições das peças hidrossanitárias em cada ambiente, utilizando-se as regras descritas no item 4.3.1. Essas informações podem ser vistas na tabela 65 abaixo:

Tabela 65 – Somatório das contribuições de esgoto em cada ambiente

Ambiente	Peças	UHC unitário	ΣUHC
Banheiro social	Chuveiro	2	3
	Lavatório	1	
Banheiro suíte	Chuveiro	2	3
	Lavatório	1	
Cozinha	Pia	3	5
	Máquina de lavar louças	2	
Lavabo	Lavatório	1	1
Área de serviço	Tanque de lavar roupas	3	6
	Máquina de lavar roupas	3	

(Fonte: Autoria própria)

Visto que em nenhum ambiente o somatório de Unidades Hunter de Contribuição foi superior a 6, todas as caixas sifonadas podem ter diâmetro nominal de 100 mm. A caixa utilizada foi da marca Tigre, com diâmetro em planta de 100 mm, 3 entradas de 40 mm e 1 saída de 50 mm.

Devido ao diâmetro mínimo do ramal de descarga da máquina de lavar roupas ser de 50 mm, optou-se, para a área de serviço, pela utilização de uma caixa que contivesse entradas de 50 mm. A caixa utilizada também foi a da marca Tigre, com diâmetro nominal de 250 mm, 3 entradas de 50 mm e uma saída de 75 mm.

O mesmo ocorre na cozinha com os diâmetros mínimos do ramal de descarga da pia e da máquina de lavar louças sendo 50 mm. Porém, neste caso, como os rejeitos contêm óleos e graxas, optou-se pela utilização de uma caixa de gordura de 18 litros que atendesse a uma cozinha residencial, também da marca Tigre, com 2 entradas de 50 mm, 1 entrada de 75 mm e uma saída de 100 mm. Na cozinha, como os dois ramais de descarga se unem, foi utilizada a entrada de 75 mm da caixa de gordura, em concordância com a tabela 11.

5.3.2 Dimensionamento dos ramais de esgoto

O dimensionamento dos ramais de esgoto foi realizado para coleta de águas cinzas e águas negras de forma separada, com a utilização da tabela 12, e resultou nos diâmetros mostrados na tabela 66. Essa separação ocorreu devido aos diferentes tratamentos que as águas residuárias terão após deixarem a residência.

Tabela 66 – Dimensionamento dos ramais de esgoto de águas cinzas

Ambiente	Σ UHC na caixa sifonada	Φ ramal de esgoto (mm)	UHC após a união dos ramais de esgoto	Φ após a união dos ramais de esgoto (mm)
Banheiro social	3	50	6	50
Banheiro suíte	3	50		
Cozinha	5	50	Não une	Não une
Lavabo	1	50	Não une	Não une
Área de serviço	6	50	Não une	Não une

(Fonte: Autoria própria)

É importante salientar que, nos ambientes da cozinha e da área de serviço, o diâmetro dos ramais utilizado será o de saída das caixas, sendo de 100 e 75 mm respectivamente.

Os ramais de descarga das bacias sanitárias, como dito acima, não recebem efluentes das caixas sifonadas. Como há 2 vasos no 2º pavimento, seus ramais de descarga, respeitando o mínimo diâmetro de 100 mm, segundo a tabela 11, foram unidos e desceram em um tubo de queda, que será dimensionado no item 5.3.3.

5.3.3 Dimensionamento dos tubos de queda

Pela modelagem dos trechos realizada no *software Autodesk Revit*, tem-se somente 1 tubo de queda de águas cinzas, composto pela junção dos ramais de esgoto dos banheiros social e suíte

localizados no 2º pavimento. Para o dimensionamento foi utilizada a tabela 13, e os resultados estão expostos na tabela 67 abaixo:

Tabela 67 – Dimensionamento dos tubos de queda de águas cinzas

Ambiente	UHC após a união dos ramais de esgoto	Φ após a união dos ramais de esgoto (mm)	Φ tubo de queda (mm)
Banheiro social	6	50	50
Banheiro suíte			
Cozinha	Não une	Não une	Não há
Lavabo	Não une	Não une	Não há
Área de serviço	Não une	Não une	Não há

(Fonte: Autoria própria)

O tubo de queda de águas negras, provindas das bacias sanitárias, contém 12 UHC. Seu diâmetro, portanto, poderia ser de 75 mm. No entanto, o ramal de descarga já conta com 100 mm de diâmetro, sendo utilizado o mesmo diâmetro no tubo de queda.

5.3.4 Dimensionamento do subcoletor e coletor predial

Para o dimensionamento do subcoletor, é importante salientar que as definições do item 4.3.4 serão aplicadas. Sendo assim, a residência conta somente com 2 subcoletores, pois existe somente 2 tubos de queda. Como as contribuições que vêm do tubo de queda das águas cinzas são de 6 UHC, de acordo com a tabela 67, deve ser utilizado um subcoletor de 100 mm com inclinação de 1%.

As tubulações que ligam nas caixas de passagem do térreo são consideradas como ramais de esgoto das caixas sifonadas, não necessitando ter seus diâmetros majorados para o mínimo de 100 mm do subcoletor.

Em relação ao subcoletor do esgoto proveniente das bacias sanitárias, pode-se manter o mesmo diâmetro e inclinação que as águas cinzas, pois, mesmo recebendo a contribuição de mais um vaso do lavabo, as UHC não ultrapassam o valor máximo de 180 para o diâmetro de 100 mm e inclinação de 1%.

5.3.5 Dimensionamento dos ramais de ventilação

O dimensionamento dos ramais de ventilação foi feito com base na tabela 16, sendo respeitadas também as distâncias máximas prescritas na tabela 15. Os resultados estão expostos na tabela 68 abaixo:

Tabela 68 – Dimensionamento dos ramais de ventilação

Ambiente	Σ UHC na caixa sifonada	Φ utilizado no ramal de esgoto (mm)	Distância máxima ao tubo ventilador (m)	Distância utilizada até o tubo ventilador (m)	Φ ramal de ventilação calculado (mm)	Φ ramal de ventilação utilizado (mm)
Banheiro social	3	50	1,20	0,07	40	50
Banheiro suíte	3	50	1,20	0,94	40	50
Cozinha	5	100	2,40	1,32	40	50
Lavabo	1	50	1,20	0,72	40	50
Área de serviço	6	75	1,80	1,24	40	50

(Fonte: Autoria própria)

É importante comentar que o diâmetro utilizado nos ramais de ventilação é diferente do calculado devido à disponibilidade de peças no mercado como junções invertidas e terminais de ventilação.

5.3.6 Dimensionamento das colunas de ventilação

O dimensionamento das colunas de ventilação foi baseado na tabela 17. O resultado é mostrado abaixo na tabela 69:

Tabela 69 – Dimensionamento das colunas de ventilação

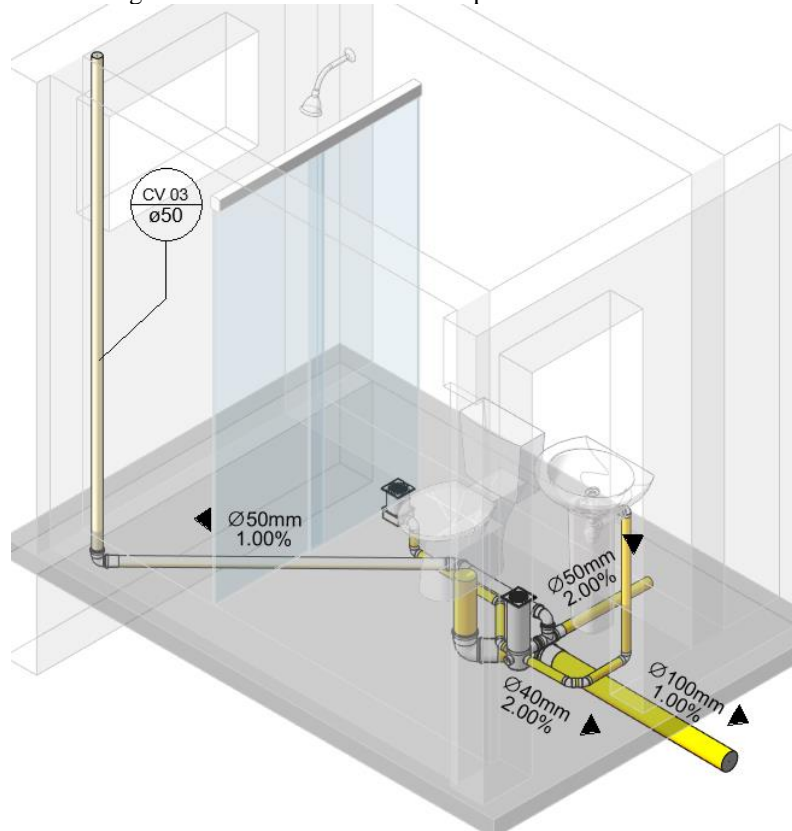
Ambiente	Σ UHC na caixa sifonada	Φ ramal de ventilação utilizado (mm)	Φ coluna de ventilação calculado (mm)	Φ coluna de ventilação utilizado (mm)
Banheiro social	3	50	40	50
Banheiro suíte	3	50	40	50
Cozinha	5	50	40	50
Lavabo	1	50		
Área de serviço	6	50	40	75

(Fonte: Autoria própria)

Novamente ressalta-se que, devido à disponibilidade de peças no mercado, alguns diâmetros usados são diferentes dos calculados pelos mesmos motivos citados anteriormente.

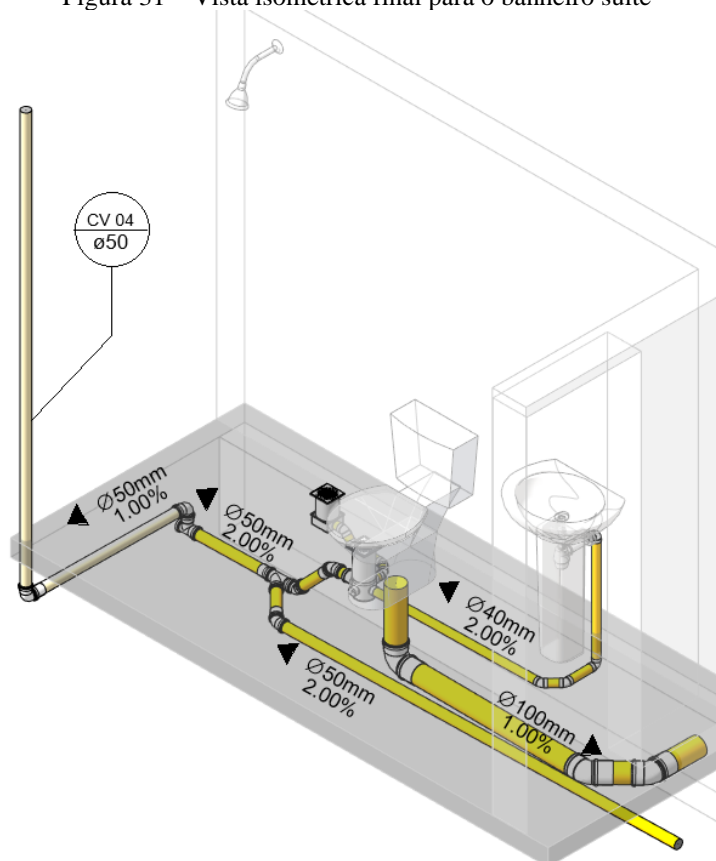
O resultado final de todas as instalações de esgoto sanitário é mostrado nas figuras 30, 31, 32, 33 e 34 para todos os ambientes.

Figura 30 – Vista isométrica final para o banheiro social



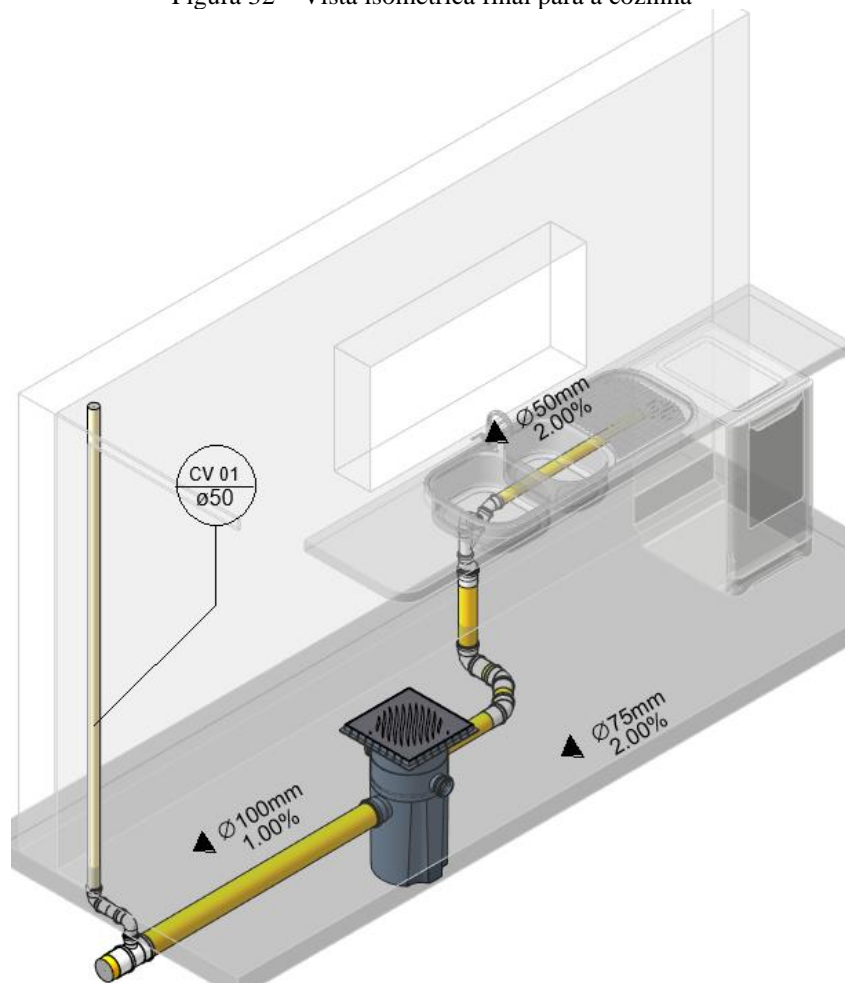
(Fonte: Autoria própria)

Figura 31 – Vista isométrica final para o banheiro suíte



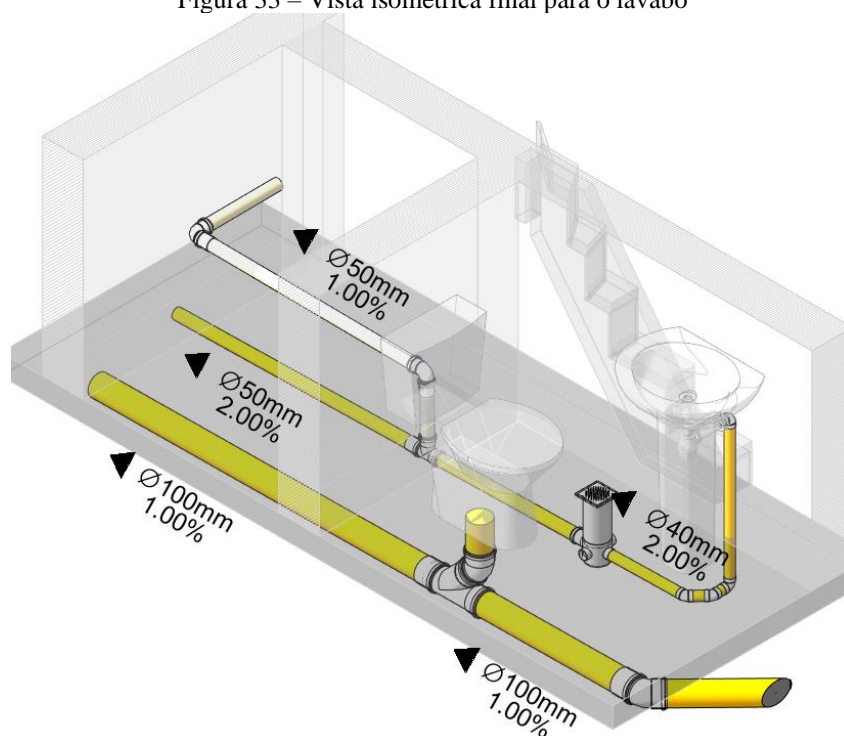
(Fonte: Autoria própria)

Figura 32 – Vista isométrica final para a cozinha



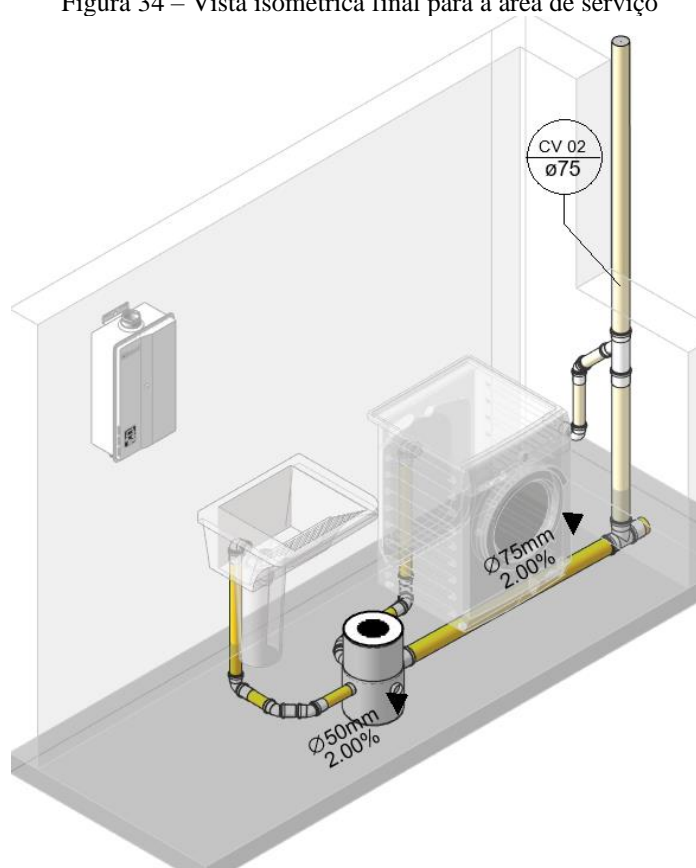
(Fonte: Autoria própria)

Figura 33 – Vista isométrica final para o lavabo



(Fonte: Autoria própria)

Figura 34 – Vista isométrica final para a área de serviço



(Fonte: Autoria própria)

5.4 INSTALAÇÕES DE ÁGUAS PLUVIAIS

Para o dimensionamento das instalações de águas pluviais, é necessário saber a localização da edificação que vai ser calculada para obter os dados de chuva da região. Como a residência em estudo se localiza no município de Garopaba – SC e não há dados pluviométricos para esta localidade, serão considerados para fins de cálculo os dados da cidade mais próxima, que é Florianópolis – SC.

Os cálculos das instalações de águas pluviais serão feitos na configuração mais crítica, que é para o tempo de retorno de 25 anos, contendo a intensidade pluviométrica de 144 mm/h.

Obtendo-se a área de telhado de 97,3 m² diretamente do modelo da arquitetura feito no *software Autodesk Revit*, pode-se calcular a vazão de projeto pela equação 12.

$$Q = \frac{144 * 97,3}{60} = 233,52 \text{ L/min} \quad (40)$$

Em que:

Q: Vazão de projeto (L/min)

É importante mencionar que o telhado da residência contém duas águas, portanto cada uma recebe a metade da vazão de projeto, no valor de 116,76 L/min.

5.4.1 Dimensionamento das calhas e condutores horizontais

Primeiramente, como as duas calhas a serem dimensionadas são totalmente retas, não será necessário multiplicar a vazão de projeto pelos coeficientes da tabela 19 para seu dimensionamento.

Inserindo a equação 16 do raio hidráulico na equação 17 bem como os outros dados necessários, obtém-se uma dimensão, b ou h , da calha. Sabe-se também que a área da seção molhada é o produto de b e h da calha, portanto $b^2/2$ já que a altura é igual à metade da base. Para o cálculo, adotou-se a declividade mínima de 0,5%, bem como um material plástico ou metal não-ferroso.

$$116,76 = \frac{60000 * \left(\frac{b^2}{2} * \frac{b}{4}\right)^{\frac{2}{3}} * 0,005^{\frac{1}{2}}}{0,011} \quad (41)$$

$$b = 0,139 \text{ m}$$

Em que:

b: dimensão da base da calha (m)

Com esse cálculo, obtém-se uma dimensão da base da calha, arredondada para facilidade de execução, de 15 cm. Logo, se a base é o dobro da altura da calha, então esta resulta em 7,5 cm.

Em relação aos condutores horizontais de seção fechada, pode-se dimensioná-los pela tabela 21, chegando a um diâmetro de 75 mm e inclinação de 1% para materiais plásticos (PVC).

5.4.2 Dimensionamento dos condutores verticais

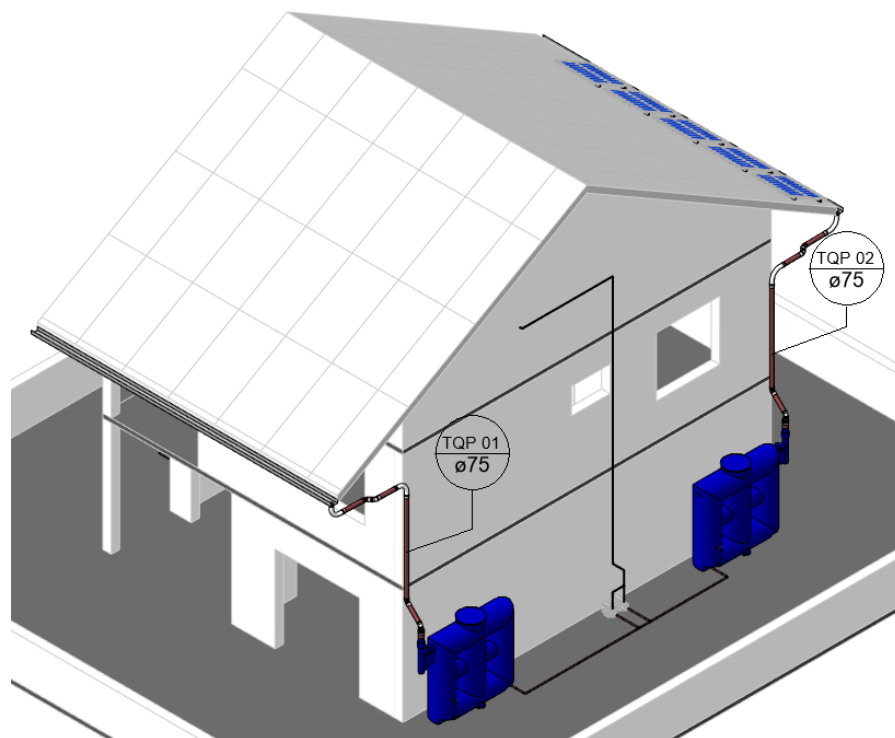
Para o dimensionamento dos condutores verticais, define-se que as saídas das calhas para os tubos de queda serão em aresta viva, e que haverá um tubo de queda para cada calha. Com isso, pode-se usar os ábacos do anexo D para o dimensionamento, chegando ao diâmetro mínimo de 75 mm para cada condutor.

5.4.3 Dimensionamento dos elementos complementares

Como os tubos de queda pluviais (TQP) descarregarão suas contribuições da chuva diretamente nas cisternas do térreo, não é necessário o uso de caixas de areia.

O *layout* final das instalações de águas pluviais está exibido na figura 35, já com a ligação nas cisternas verticais que servirão de reservatório inferior para as águas pluviais, as quais serão elevadas por meio de bombeamento para o reservatório superior para posterior reuso nas bacias sanitárias, sistema que será dimensionado no item 5.5.

Figura 35 - Vista isométrica das instalações de águas pluviais



(Fonte: Autoria própria)

5.5 SISTEMA DE REUSO DAS ÁGUAS PLUVIAIS

5.5.1 Dimensionamento do reservatório de águas pluviais

O dimensionamento do sistema de reuso das águas pluviais consiste no dimensionamento do reservatório ou cisterna que armazenará a água até o reuso. Para seu dimensionamento, o único dado que ainda não se tem é o da precipitação histórica na localidade da residência. Segundo o Climatempo (2021), os dados históricos de 30 anos atrás para a cidade de Garopaba – SC são os expostos na tabela 70 para cada mês:

Tabela 70 – Precipitação em mm da série histórica de 30 anos para o município de Garopaba – SC

Janeiro	163
Fevereiro	144
Março	139
Abril	113
Maio	130
Junho	97
Julho	111
Agosto	104
Setembro	152
Outubro	148
Novembro	144
Dezembro	131
Média anual	131,33

(Fonte: CLIMATEMPO, 2021)

Admitindo-se que o material das telhas seja de cerâmica, com um coeficiente de *runoff* de 0,85, pode-se calcular o volume teórico disponível de acordo com a equação 18.

$$V_{disp} = 131,33 * 97,3 * 0,85 * 0,85 = 9232,4 L \quad (42)$$

Em que:

V_{disp} : Volume disponível anual, mensal ou diário de água da chuva (L)

O cálculo da demanda de água não potável pode ser calculado segundo a tabela 23, adotando-se os seguintes parâmetros:

- População calculada anteriormente de 4 habitantes;
- 6 descargas por habitante por dia e caixa acoplada com volume de 6 litros;

Multiplicando-se os volumes gastos de água não potável pelas frequências de utilização desta água, chega-se a um volume de 4320 litros gastos no mês com descargas do vaso sanitário, sendo a demanda de água de reuso pluvial, ou 4,32 m³ por mês.

Como o volume do reservatório de águas pluviais é determinado pela maior diferença negativa acumulada entre volume teórico disponível e demanda, tem-se um resultado de 4,32 m³ de reserva, como mostra a tabela 71 de dimensionamento e o comentário abaixo:

Tabela 71 – Aplicação do Método de Rippl para dimensionamento do reservatório de águas pluviais

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Mês	P	A		Volume aproveitável	Demanda mensal	$V_{ap} - D$	Diferença acumulada	Volume reservatório
	(mm)	(m ²)	$C * \eta$	(m ³)	(m ³)	(m ³)		(m ³)
Janeiro	163	97,3	0,7225	11,458778	4,32	7,139	7,138778	
Fevereiro	144	97,3	0,7225	10,123092	4,32	5,803	12,94187	
Março	139	97,3	0,7225	9,7715958	4,32	5,452	18,39347	
Abril	113	97,3	0,7225	7,9438153	4,32	3,624	22,01728	
Mai	130	97,3	0,7225	9,1389025	4,32	4,819	26,83618	
Junho	97	97,3	0,7225	6,8190273	4,32	2,499	29,33521	
Julho	111	97,3	0,7225	7,8032168	4,32	3,483	32,81843	
Agosto	104	97,3	0,7225	7,311122	4,32	2,991	35,80955	
Setembro	152	97,3	0,7225	10,685486	4,32	6,365	42,17504	
Outubro	148	97,3	0,7225	10,404289	4,32	6,084	48,25932	
Novembro	144	97,3	0,7225	10,123092	4,32	5,803	54,06242	
Dezembro	131	97,3	0,7225	9,2092018	4,32	4,889	58,95162	

(Fonte: Adaptado de VERÓL et al, 2019)

Em que:

(1): Mês do ano

(2): Precipitação média mensal ou diária (mm)

(3): Área de coleta (m²)

(4): Produto do coeficiente de escoamento superficial pela eficiência do sistema de captação

(5): Volume máximo de água pluvial que poderá ser coletado no intervalo de um mês ou um dia, calculado pela equação 42 acima (m³)(6): Demanda mensal a ser atendida (m³)(7): Diferença entre o volume aproveitável e a demanda mensal (m³)(8): Diferença acumulada (m³): volume obtido pelo somatório das diferenças negativas do volume aproveitável menos a demanda(9): Volume do reservatório de água pluvial (m³): volume adquirido no somatório da diferença negativa do volume de chuva e da demanda

Como nenhuma diferença acumulada resultou negativa devido às demandas serem menores que a oferta de chuva em todos os meses do ano, adota-se um volume necessário de reserva equivalente à demanda mensal de água não potável de 4,32 m³, ou seja, 0,144 m³/dia. Em virtude desse resultado, serão utilizadas 2 cisternas de 1000 litros da marca Tecnotri, que ficam no nível térreo e coletam as águas que escoam pelos tubos de queda, e um reservatório superior

de 3000 litros da marca Fortlev, que fará a distribuição da água não potável por gravidade para as bacias sanitárias.

5.5.2 Dimensionamento do sistema de recalque

Os cálculos das tubulações de sucção e recalque, realizados conforme as equações 3 e 4, estão demonstrados abaixo:

$$Q_{bomba} = \frac{0,144}{3 * 3600} = 0,00001333 \frac{m^3}{s} \quad (43)$$

$$D_r = 1,3 * \sqrt[4]{0,00001333} * \sqrt[4]{\frac{3}{24}} = 0,002822 \text{ m} = 2,822 \text{ mm} \quad (44)$$

Em que:

Q_{bomba} : Vazão da bomba (m^3/s)

D_r : Diâmetro nominal do tubo de recalque (metros)

Com esse diâmetro resultante, o diâmetro comercial mais próximo, e, portanto, o adotado para o recalque, é o de 20 mm. Já para o tubo de sucção, é adotado um diâmetro comercial acima do recalque, sendo adotado 25 mm.

As verificações de velocidades foram executadas conforme a equação 5 para sucção e recalque respectivamente, já se utilizando os diâmetros internos dos tubos comerciais.

$$v_r = \frac{0,00001333}{\frac{\pi * 0,017^2}{4}} = 0,059 \text{ m/s} \quad (45)$$

$$v_s = \frac{0,00001333}{\frac{\pi * 0,0216^2}{4}} = 0,036 \text{ m/s} \quad (46)$$

Em que:

v_r : velocidade do líquido na tubulação de recalque (m/s)

v_s : velocidade do líquido na tubulação de sucção (m/s)

As perdas de carga lineares nos tubos são calculadas de acordo com a equação 6.

$$J_{recalque} = \frac{8,69 * 10^6 * 0,01333^{1,75}}{174,75} = 0,0065 \frac{kPa}{m} = 0,00063 \frac{m}{m} \quad (47)$$

$$J_{\text{sucção}} = \frac{8,69 * 10^6 * 0,01333^{1,75}}{21,6^{4,75}} = 0,0021 \frac{\text{kPa}}{\text{m}} = 0,00021 \frac{\text{m}}{\text{m}} \quad (48)$$

Em que:

J_{recalque} : Perda de carga unitária em tubos lisos de PVC (kPa/m)

$J_{\text{sucção}}$: Perda de carga unitária em tubos lisos de PVC (kPa/m)

Para calcular a altura manométrica, as informações necessárias são a altura geométrica de sucção, zero, e a de recalque, 6,65 metros, e as perdas equivalentes das conexões, registros e peças, que estão exibidas nas tabelas 72 e 73 para sucção e recalque:

Tabela 72 - Comprimento equivalente da tubulação de sucção ($L_{\text{Sequivalente}}$)

Comprimento equivalente - Sucção (DN 25 mm)			
Conexão	Quantidade	Perda equivalente	Perda total
Joelho 90°	1	1,2	1,2
Tê saída lateral	1	2,4	2,4
Total (m)			3,6

(Fonte: Autoria própria)

Tabela 73 - Comprimento equivalente da tubulação de recalque ($L_{\text{Requivalente}}$)

Comprimento equivalente - Recalque (DN 20 mm)			
Conexão	Quantidade	Perda equivalente	Perda total
Válvula de retenção leve	1	2,5	2,5
Tê passagem direta	1	0,7	0,7
Joelho 90°	4	1,1	4,4
Total (m)			7,6

(Fonte: Autoria própria)

Com esses dados, pode-se calcular a altura manométrica total da instalação de sucção e recalque, de acordo com a equação 7:

$$H_{\text{man}} = 0 + 6,65 + 0,00021 * (2,76 + 3,6) + 0,0133 * (9,78 + 7,6) = 6,88 \text{ m} \quad (49)$$

Em que:

H_{man} : Altura manométrica total da instalação de sucção e recalque (m.c.a.)

Para o cálculo da potência da bomba, o rendimento do processo, pelos ábacos do anexo B, resultou em 4%.

Finalmente pode-se calcular a potência da bomba pela equação 8, atentando-se para os acréscimos descritos na tabela 6:

$$P = \frac{1000 * 0,00001333 * 6,88}{75 * 0,04} = 0,031 \text{ CV} \quad (50)$$

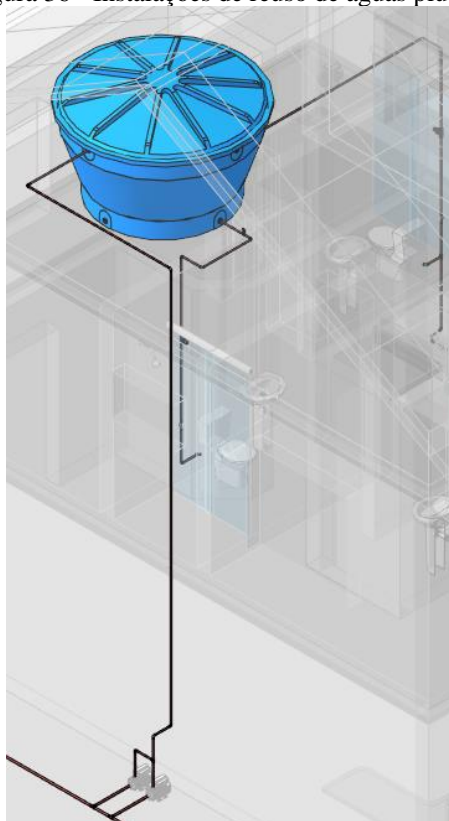
Em que:

P: Potência da bomba (CV)

De acordo com a tabela 6, deve-se acrescentar 50% de potência em resultados menores que 2 CV. Portanto, a potência final da bomba com o acréscimo é igual a 0,05 CV. Logo, a bomba mais próxima a essas características disponível comercialmente é a BC-98 da marca Schneider, com potência de 0,33 CV.

O *layout* interno das instalações de reuso de águas pluviais estão mostradas na figura 36 abaixo:

Figura 36 - Instalações de reuso de águas pluviais



(Fonte: Autoria própria)

5.5.3 Dimensionamento das tubulações de distribuição interna

As tubulações de reuso de água pluvial foram dimensionadas seguindo criteriosamente os passos do item 4.1.3. O resultado de verificação de pressões é exposto abaixo na tabela 74:

Tabela 74 - Verificação de pressões para as bacias sanitárias, que recebem água de reuso pluvial

Ambiente	Ponto de Uso	Trecho	ΣP	Q (L/s)	D (mm)	Di (mm)	V (m/s)	Verificação V<3 m/s	L Real (m)	J linear (kPa/m)	L equivalente (m)	L total (m)	J total (kPa)	Δh (m)	Pressão disponível (kPa)	Pressão requerida (kPa)	Pressão disponível residual (kPa)	Verificação Pressão
Banheiro Social	Bacia Sanitária	CIS-BS	0,3	0,16	20	17	0,72	OK	4,20	0,53	0,2	10,30	5,43	2,69	26,85	5	21,42	OK
											5,5							
											0,40							
Banheiro Suíte	Bacia Sanitária	CIS-A	0,6	0,23	20	17	1,02	OK	5,68	0,97	0,2	10,78	10,42	2,69	26,85	5	16,43	OK
											2,2							
											0,40							
		A-BS	0,3	0,16	20	17	0,72	OK	0,21	0,53	2,3	1,31	0,69	0,00	0,00	5	15,74	OK
											1,1							
Lavabo	Bacia Sanitária	CIS-A	0,6	0,23	20	17	1,02	OK	5,68	0,97	0,2	9,18	8,87	2,69	26,85	5	17,98	OK
											2,2							
											0,40							
		A-BS	0,3	0,16	20	17	0,72	OK	3,27	0,53	0,7	11,47	6,04	2,80	28,00	5	21,96	OK
											0,1							
									7,7									
											0,40							

(Fonte: Autoria própria)

5.6 SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO COM BIODIGESTOR

Algumas definições são necessárias antes de iniciar os cálculos da produção de gás pelo biodigestor como a temperatura média anual na localidade da residência, bem como a busca de valores médios de DQO_b nos esgotos afluente e efluente do biodigestor. Para isso, buscou-se novamente no Climatempo (2021) a série histórica de 30 anos das temperaturas médias mensais no município de Garopaba. Os valores estão expostos na tabela 75 abaixo:

Tabela 75 – Temperaturas mínimas e máximas mensais da série histórica de 30 anos para Garopaba – SC

Mês	Mínima (°C)	Máxima (°C)
Janeiro	23	25
Fevereiro	23	25
Março	23	25
Abril	21	23
Maiο	18	21
Junho	16	19
Julho	15	18
Agosto	15	18
Setembro	16	19
Outubro	18	20
Novembro	20	22
Dezembro	21	24

(Fonte: CLIMATEMPO, 2021)

Quanto aos valores de DQO_b nos esgotos afluente e efluente do biodigestor, Girardi Neto et al (2017), em seu estudo, analisaram a DQO_b de um biorreator inicialmente com dejetos bovinos e posteriormente com resíduos de restaurantes. O autor comenta que o biorreator era alimentado diariamente com 20000 gramas de resíduos sólidos com densidade de 1,06 g/L e a uma vazão de 0,2184 L/s ou 18,87 m³/dia, chegando-se a valores médios de DQO_b na entrada e na saída do biorreator de, respectivamente, 66773,74 g/m³ e 16201,12 g/m³.

Rezende et al (2013), em seu estudo, analisaram a contribuição *per capita* diária de resíduos em um bairro na cidade de Jaú, São Paulo, que resultou em 643 gramas, sendo o percentual de matéria orgânica de 50%. O peso específico dos resíduos gerados foi de 136 kg/m³. Com esses dados, pode-se calcular a quantidade de biogás gerada para a residência de 4 habitantes e para os 4 kg de resíduos comentados pela Homebiogás (2020).

Para os 4 habitantes residência, portanto, tem-se 1286 gramas de resíduos sólidos gerados, resultando em uma vazão de 0,0095 m³/dia. Pela proporção de massa, pode-se calcular a DQO_b na entrada e na saída do biodigestor, sendo, respectivamente, 4293,6 g/m³ e 1041,7 g/m³.

Com esses valores, pode-se realizar os cálculos das equações 20 e 21, para posteriormente calcular o volume de metano produzido pela equação 19. Serão realizados dois cálculos, o

primeiro para a menor temperatura anual e o segundo para a maior, avaliando assim a capacidade de produção de biogás nas diferentes épocas do ano.

$$K_{t,mínima} = \frac{0,08206 * (273,15 + 15)}{1 * 64} = 0,37 \text{ m}^3 \quad (51)$$

$$K_{t,máxima} = \frac{0,08206 * (273,15 + 25)}{1 * 64} = 0,38 \text{ m}^3 \quad (52)$$

Em que:

$K_{t,mínima}$: Fator teórico de conversão de 1 g de DQO_b, à menor temperatura anual de funcionamento do biodigestor, em metano (m³)

$K_{t,máxima}$: Fator teórico de conversão de 1 g de DQO_b, à maior temperatura anual de funcionamento do biodigestor, em metano (m³)

Interpolando-se os valores da tabela 25 para descobrir o tempo de retenção de sólidos nas temperaturas mínima e máxima anuais da localidade, pode-se calcular a massa líquida de tecido celular produzida diariamente (kg/d) de acordo com a equação 21. A vazão de esgoto calculada por meio das contribuições resulta em 0,0095 m³/dia.

$$P_{x,mínima} = \frac{0,10 * 0,0095 * (4293,6 - 1041,7) * 10^{-3}}{1 + 0,03 * (32)} = 0,0016 \text{ kg/dia} \quad (53)$$

$$P_{x,máxima} = \frac{0,10 * 0,0095 * (4293,6 - 1041,7) * 10^{-3}}{1 + 0,03 * (19)} = 0,002 \text{ kg/dia} \quad (54)$$

Em que:

$P_{x,mínima}$: Massa líquida de tecido celular produzida diariamente no tempo de retenção de sólidos da menor temperatura anual (kg/dia)

$P_{x,máxima}$: Massa líquida de tecido celular produzida diariamente no tempo de retenção de sólidos da maior temperatura anual (kg/dia)

Com isso, pode-se calcular o volume de metano, referente aos resíduos orgânicos de cozinha, produzido nas duas temperaturas anuais de acordo com a equação 19.

$$V_{CH_4,mín} = 0,37 * [(4293,6 - 1041,7) * (0,0095) * 10^{-3} - 1,42 * 0,0016] = 0,0105 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \quad (55)$$

$$V_{CH_4,máx} = 0,38 * [(4293,6 - 1041,7) * (0,0095) * 10^{-3} - 1,42 * 0,002] = 0,0106 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \quad (56)$$

Em que:

$V_{CH_4,máx}$: Volume de metano produzido na maior temperatura anual de funcionamento do biodigestor (m^3/d)

$V_{CH_4,mín}$: Volume de metano produzido na menor temperatura anual de funcionamento do biodigestor (m^3/d)

Pode-se observar que, para o município de Garopaba, as produções de metano não têm variação expressiva durante o ano, sendo uma boa localidade para se ter um sistema de tratamento de esgotos por meio da biodigestão. Esta variação também não foi grande devido à reduzida oferta de matéria orgânica que uma residência com 4 habitantes gera.

Considerando que o biodigestor ainda receberá dejetos de humanos, calcula-se, de acordo com Macintyre (2010) no item 4.6 deste trabalho, a massa total de 1,6 kgf, já para os 4 habitantes da residência em estudo. O autor comenta que é possível gerar 0,0029 m^3 de biogás a cada kgf desse tipo de resíduo. Chega-se a um total de 0,00464 m^3 de biogás gerados por dia, que podem ser somados aos volumes de metano calculados acima, resultando em 0,01514 m^3/dia e 0,01524 m^3/dia nas mínimas e máximas temperaturas anuais respectivamente.

Logo, a fim de determinar o volume necessário do gasômetro do biodigestor, é realizado o cálculo da demanda de biogás no interior da casa, que foi definida como sendo 2 horas de utilização por dia de 1 queimador de fogão de 5 cm (2") de diâmetro, cujo consumo por hora é de 0,32 m^3 . Sendo assim, o consumo diário de biogás é de 0,64 m^3 , sendo consumo em 2 horas de pico diárias.

O dimensionamento do biodigestor, bem como de seu gasômetro, é realizado pelas equações 22, 23 e 24.

$$\text{Volume do biodigestor} = 1,4 * 0,64 = 0,90 \text{ m}^3 \quad (57)$$

$$V_{\text{produzido no pico}} = \frac{0,64 * 2}{24} = 0,053 \text{ m}^3 \quad (58)$$

Em que:

$V_{\text{produzido no pico}}$: quantidade de gás produzida durante as horas de pico (m^3)

$$V_g = 0,64 - 0,053 = 0,587 \text{ m}^3 \quad (59)$$

Em que:

V_g : Volume do gasômetro (m^3)

Com os cálculos acima, já pode-se concluir que a produção de gás diária, levando em consideração os resíduos gerados por uma residência com 4 habitantes, não supre a demanda de $0,64 m^3/dia$.

A Homebiogás (2020) descreve em sua loja virtual que o biodigestor Homebiogás 2.0, com 4 kg de resíduos orgânicos, pode gerar $0,7 m^3$ de biogás por dia. Ainda se fazendo a relação com a carga orgânica gerada pelo restaurante citada por Girardi Neto et al (2017), pode-se realizar a verificação do volume de biogás informado pela empresa Homebiogás. A DQO_b na entrada e na saída do biodigestor, para 4 kg de contribuição de matéria orgânica por dia são $13354,8 g/m^3$ e $3240,2 g/m^3$.

Com isso, pode-se calcular novamente os resultados da equação 21, e posteriormente da equação 19 em conjunto com o resultado acima da equação 20, para as mesmas temperaturas calculadas anteriormente. A nova vazão de matéria orgânica no biodigestor é de $0,029 m^3/dia$.

$$P_{x,mínima} = \frac{0,10 * 0,029 * (13354,8 - 3240,2) * 10^{-3}}{1 + 0,03 * (32)} = 0,015 \text{ kg/dia} \quad (60)$$

$$P_{x,máxima} = \frac{0,10 * 0,029 * (13354,8 - 3240,2) * 10^{-3}}{1 + 0,03 * (19)} = 0,019 \text{ kg/dia} \quad (61)$$

Em que:

$P_{x,mínima}$: Massa líquida de tecido celular produzida diariamente no tempo de retenção de sólidos da menor temperatura anual (kg/dia)

$P_{x,máxima}$: Massa líquida de tecido celular produzida diariamente no tempo de retenção de sólidos da maior temperatura anual (kg/dia)

$$V_{CH_4,mín} = 0,37 * [(13354,8 - 3240,2) * (0,029) * 10^{-3} - 1,42 * 0,015] = 0,100 \frac{m^3}{dia} \quad (62)$$

$$V_{CH_4,máx} = 0,38 * [(13354,8 - 3240,2) * (0,029) * 10^{-3} - 1,42 * 0,019] = 0,101 \frac{m^3}{dia} \quad (63)$$

Em que:

$V_{CH_4,máx}$: Volume de metano produzido na maior temperatura anual de funcionamento do biodigestor (m^3/d)

$V_{CH_4, \min}$: Volume de metano produzido na menor temperatura anual de funcionamento do biodigestor (m^3/d)

Esses resultados demonstram que a empresa Homebiogás, ao vender seu biodigestor modelo 2.0, mostra um resultado acima do possível de ser gerado quando diz que o produto gera $0,7 m^3$ de biogás, pois, de acordo com os cálculos acima, é possível ter uma quantidade bastante menor de gás gerado com a alimentação $4 kg$ de resíduos orgânicos, sendo necessário um sistema de gás alternativo. É preciso ter atenção, no entanto, quanto à diluição da matéria orgânica – informação omitida no *site* da Homebiogás –, pois isso pode interferir no balanço de massas das reações que ocorrem dentro do biodigestor.

É importante lembrar também que esses cálculos foram feitos com informações de DQO de uma edificação comercial, onde se localiza um restaurante. Portanto os valores do estudo podem não estar de acordo com uma residência unifamiliar, sendo necessário medir a DQO afluente e efluente *in loco*.

Esses resultados, portanto, vão totalmente de encontro às informações do biodigestor 2.0 disponibilizadas pela marca Homebiogás, onde a capacidade de geração de gás informada é de $0,7 m^3$ de gás no gasômetro, pois, de acordo com os cálculos acima, não é possível gerar isso nem com a quantidade de resíduos informada.

5.7 SISTEMA DE REUSO DAS ÁGUAS CINZAS

O dimensionamento do sistema de reuso das águas cinzas se resume em calcular o volume do reservatório dessas águas residuárias de acordo com a tabela 28. Somando-se, portanto, as contribuições de lavatórios e chuveiros e de tanques e máquinas de lavar roupa, obtém-se o valor de 91 litros/pessoa/dia, que multiplicado por 4 habitantes resulta em um reservatório de 364 litros.

5.7.1 Sistema de tratamento com *wetlands* construídos de escoamento horizontal subsuperficial

Para o dimensionamento do *wetland* construído, serão seguidos os passos citados no item 4.7.1. Von Sperling e Sezerino (2018) recomendam a passagem do esgoto por tanque séptico anteriormente à chegada no *wetland*. Porém, como só será destinada água cinza para tratamento, optou-se por não utilizar o tanque. Os efluentes da pia da cozinha passarão por uma caixa de gordura que ajudará a remover óleos e graxas. Mesmo assim, se adotará uma eficiência um pouco mais baixa do *wetland* para compensar a falta de um tratamento primário de esgoto.

O reuso da água pode ser realizado após o tempo de detenção hidráulica da água cinza citado por Benassi (2018) no *wetland*, com uso de classe 4, somente para a parte externa da casa.

Primeiramente, foi escolhido a *wetland* de escoamento horizontal subsuperficial por ter as maiores eficiências de remoção de poluentes segundo Benassi (2018).

A concentração de poluentes que chega ao sistema de tratamento pode ser arbitrada em uma média dos valores de von Sperling e Sezerino (2018). Os autores fixam uma faixa de valores entre 6 e 15 gramas de DBO/m²/dia. A média, portanto, resulta em 10,5 gramas de DBO/m²/dia.

Quanto à eficiência de remoção, arbitra-se em 70%, abaixo do valor de 81,5% de remoção de DBO comentado por Benassi (2018).

A vazão média a ser tratada é determinada pelas contribuições das peças hidrossanitárias geradoras de água cinza, resultando em 364 litros por dia como calculado acima.

A porosidade do leito, usando-se brita 1 como material suporte, resulta em 0,5 mm.

O coeficiente de decaimento do poluente será calculado em função da média de temperaturas anual em Garopaba, Santa Catarina. Esse valor, segundo o Climatempo (2021) é de 20,33°C. Calcula-se, então, o coeficiente segundo a equação 26.

$$K_T = 1,104 * (1,06)^{20,33-20} = 1,125 d^{-1} \quad (64)$$

Em que:

K_t : Coeficiente de decaimento do poluente (d^{-1})

A altura do esgoto fica definida em 0,5 metro de acordo com a recomendação.

Com esses dados, pode-se calcular a área superficial do leito necessária para a *wetland*, de acordo com a equação 27.

$$A_s = \frac{0,364 * \ln\left(\frac{10,5}{3,15}\right)}{1,125 * 0,5 * 0,5} = 1,56 m^2 \quad (65)$$

Em que:

A_s : Área superficial do leito (m²)

Adota-se, portanto, um *wetland* construído de fluxo horizontal subsuperficial com relação de 2:1 entre lados, sendo o menor de dimensão 0,90 metro e o maior com 1,8 metros.

6 ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA DAS ALTERNATIVAS

6.1 ANÁLISE TÉCNICA PARA IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS DE REUSO DE ÁGUA E TRATAMENTO DE ESGOTO

A localização dos equipamentos dos sistemas de reuso de água e tratamento de esgoto foi pensada de forma a ficar mais próxima dos pontos de consumo de água não potável e de saída de efluentes, visando o menor consumo de tubulações possível.

O sistema de reuso de águas pluviais ocupou a maior parte da parede lateral direita com as 2 cisternas, sendo as duas das extremidades recebendo a chuva diretamente dos tubos de queda e a intermediária interligada com as outras para receber as contribuições e destinar a água não potável para os pontos de utilização. Para implantar esse sistema foi necessária a retirada de uma porta existente na parede lateral direita, pois sua livre passagem seria impedida pela instalação das bombas.

Em relação aos sistemas de tratamento de esgoto e reuso de águas cinzas, sua localização está à esquerda da casa, alcançando o objetivo de ficarem próximos dos efluentes gerados. O primeiro será semienterrado para receber as tubulações que são enterradas, sendo necessária uma base de concreto de 10 cm com malha de aço para cada um. A escavação deverá ser feita em conjunto com a construção de um talude com inclinação de acordo com o tipo de solo. O segundo também será escavado, necessitando de uma camada de impermeabilização para o *wetland* construído. Neste caso não houve interferências com a arquitetura do local.

Quanto às vantagens do sistema de tratamento de esgoto com biodigestor, pode-se dizer que além de gerar um gás inodoro, ajudando na economia deste insumo que tem alto custo no mercado, ainda evita a degradação do solo pela infiltração de esgoto por meio de sumidouros, evitando que ocorra a contaminação do lençol freático, que já é utilizado para a captação de água subterrânea no terreno.

As desvantagens do uso de um biodigestor no terreno é simplesmente a ocupação de 6 m², que em terrenos pequenos faz grande diferença, e as manutenções necessárias, que são a troca, uma vez ao ano, do filtro de gás que remove o sulfato de hidrogênio, a retirada de lodo no fundo do equipamento a cada 3-5 anos, e a substituição da pastilha de cloro após a sua dissolução.

6.2 ANÁLISE ORÇAMENTÁRIA PARA A IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS DE REUSO DE ÁGUA E TRATAMENTO DE ESGOTO

Para a análise orçamentária da implantação dos sistemas alternativos, deve-se ter as informações de valores dos equipamentos utilizados, bem como os custos de água por metro cúbico do sistema de abastecimento municipal de Garopaba em uma hipótese de a casa ser abastecida por rede pública. Também serão levados em consideração os valores do metro cúbico de gás natural para fazer a comparação dos valores e os possíveis lucros ou prejuízos do sistema. Esses valores estão expostos nas tabelas 76 e 77. Serão excluídos da análise os gastos com perfuração de poço, pois o valor é cobrado por metro de perfuração e não se tem essa informação. Também serão excluídos os gastos com a implantação do *wetland* construído, pois o sistema substituto seria um sumidouro para infiltração no solo, cujo valor seria equivalente à lagoa de plantas.

Tabela 76 – Custo dos equipamentos utilizados nos sistemas alternativos (investimento processado no momento zero = I_0)

Produto	Uso	Quantidade	Unidade	Valor total
Homebiogás 2.0	Tratamento de esgoto por biodigestão	1	un	R\$ 6.900,00
Cisterna Vertical 1000 litros Tecnotri	Reuso de águas pluviais	2	un	R\$ 4.946,00
Smart Filtro Tecnotri	Reuso de águas pluviais	2	un	R\$ 1.282,00
Bomba 1/3 CV Schneider	Reuso de águas pluviais	2	un	R\$ 1.439,72
Tubos, conexões e registros	Reuso de águas pluviais	1	vb	R\$ 679,37

(Fonte: Autoria própria)

Tabela 77 - Valores das tarifas de água e gás cobradas na localidade de Garopaba

Tarifa	Valor cobrado
m ³ de água potável	R\$ 31,45
m ³ de gás natural	R\$ 2,85

(Fonte: Autoria própria)

Serão levados em consideração para o cálculo o consumo de água não potável de 4,32 m³ por mês, calculado no item 5.5 deste trabalho, e o consumo de gás de 0,64 m³ por dia ou 19,2 m³ por mês, calculado no item 5.6. Com esses dados, pode-se calcular o fluxo de caixa líquido esperado para cada período pelo produto das tarifas pelo consumo de água, em uma hipótese de que a residência em questão paga para ter água potável, e de gás. Isso resulta em um valor de R\$ 184,30 de água potável e R\$ 54,72 de gás economizados por mês. O cálculo do *payback* dos

dois sistemas de reaproveitamento de água e do sistema de tratamento de esgoto são realizados pela equação 28 e mostrados abaixo:

$$Payback_{reuso} = \frac{8347,09}{184,3} = 45,29 \text{ meses} \cong 3,8 \text{ anos} \quad (66)$$

$$Payback_{esgoto} = \frac{6900,00}{54,72} = 126,1 \text{ meses} \cong 10,5 \text{ anos} \quad (67)$$

Em que:

$Payback_{reuso}$: tempo necessário para recuperar o investimento inicial de capital nos dois sistemas de reuso de água

$Payback_{esgoto}$: tempo necessário para recuperar o investimento inicial de capital no sistema de tratamento de esgoto por biodigestão

Para o cálculo do VPL, arbitra-se uma taxa mínima requerida de retorno do projeto de 1% ao ano, e no tempo de retorno esperado, considera-se o *payback* de cada investimento calculado acima. Como não foi considerado no cálculo os custos com manutenção dos sistemas, o valor de I_t é considerado zero, anulando todo o somatório mais à direita, porém ressalta-se que com a inclusão dos valores de manutenção, o tempo de retorno tende a ser maior e o VPL menor. Com isso, o cálculo do Valor Presente Líquido do sistema de reuso pluvial e do sistema de tratamento de esgoto são realizados seguindo a equação 29.

$$VPL_{reuso} = \left(\sum_{t=1}^4 \frac{184,3}{(1 + 0,01)^t} \right) - (8347,09 + 0) = -R\$7627,96 \quad (68)$$

$$VPL_{esgoto} = \left(\sum_{t=1}^{11} \frac{54,72}{(1 + 0,01)^t} \right) - (6900,00 + 0) = -R\$6332,68 \quad (69)$$

Em que:

VPL_{reuso} : Valor Presente Líquido do investimento realizado no sistema de reuso pluvial

VPL_{esgoto} : Valor Presente Líquido do investimento realizado no sistema de tratamento de esgoto por biodigestão

Mesmo que os resultados de cada Valor Presente Líquido tenham ficado negativos, sinalizando que os projetos são economicamente desinteressantes, há outras motivações, além da financeira,

como a de preservação do meio ambiente, para sua realização, não sendo esta impeditiva para que o investimento ainda seja realizado.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As instalações hidrossanitárias são constituintes primordiais para o funcionamento eficiente de uma residência, seja possibilitando a oferta de água ou afastando os esgotos, que contém poluentes nocivos à saúde humana. Quando a residência em que se projeta tais instalações não contém redes públicas de água e esgoto próximas, há a necessidade buscar um abastecimento de água alternativo de qualidade, assim como o tratamento de esgoto, que deve ser realizado no próprio terreno. Nesses casos, é responsabilidade do projetista buscar essas alternativas e avaliar a que melhor se enquadra para cada caso.

Neste projeto, já havia uma captação de água subterrâneas, não sendo avaliada sua potabilidade. Porém, buscou-se reaproveitar todas as águas que eram ofertadas, seja do meio ambiente por meio das chuvas ou dos próprios pontos de uso da residência, que geram águas cinzas, com exceção das bacias sanitárias. Para o reaproveitamento dos diferentes tipos de água, foram dimensionados sistemas de tratamento com alta eficiência de remoção de poluentes, indo a favor da saúde dos habitantes.

Os efluentes das bacias sanitárias, que são classificados como águas negras e não cinzas, foram destinados a um biodigestor, que trata os efluentes e gera subprodutos como biogás e biofertilizante. Quando calculada em função de vazões médias de esgoto presentes no estudo de Rezende et al (2013), a quantidade de gás gerada diariamente não supre a demanda de 2 horas de uma boca de fogão acesa. Os cálculos realizados com a massa de resíduos orgânicos informada pela empresa fabricante do biodigestor resultaram também em um volume de gás que também não supre a demanda diária. No entanto, não se conhece os cálculos realizados pela empresa nem as condições da matéria orgânica que são utilizadas em seus cálculos.

Em aspectos financeiros, as alternativas de reaproveitamento de água e tratamento de esgoto não se mostraram favoráveis, mas apresentaram um tempo de retorno do investimento razoável. Se observado pelo ponto de vista ambiental, as alternativas têm muito potencial de preservação das águas subterrâneas e do solo como um todo, pois não o agredem nem mesmo com esgotos pré-tratados em filtros e tanques sépticos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, W. C. et al. **Sistema de aproveitamento de águas pluviais – usos não potáveis**. Revista Técnica, São Paulo, n. 133, p. 99-104, abr. 2008.

ANA. Agência Nacional de Águas. CEBDS. Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. **Fatos e tendências: água**. Brasília, 2009.

ASSAF NETO, A. **Finanças corporativas e valor**. 8. Ed. Rio de Janeiro: Atlas, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626: Sistemas prediais de água fria e água quente** — Projeto, execução, operação e manutenção. Rio de Janeiro, 2020.

_____. **NBR 7229: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos** – Procedimento. Rio de Janeiro, 1993.

_____. **NBR 8160: Sistemas prediais de esgoto sanitário** – Projeto e execução. Rio de Janeiro, 1999.

_____. **NBR 10844: Instalações prediais de águas pluviais** – Procedimento. Rio de Janeiro, 1989.

_____. **NBR 13969: Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos** – Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **NBR 15527: Aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis** – Requisitos. Rio de Janeiro, 2019.

_____. **NBR 15569: Sistemas de aquecimento solar de água em circuito direto** – Requisitos de projeto e instalação. Rio de Janeiro, 2020.

BENASSI, R. F. **Manual de sistemas de wetlands construídas para o tratamento de esgotos sanitários**: implantação, operação e manutenção. 1. Ed. Santo André – SP: UFABC, 2018.

BOTELHO, M. H. C.; RIBEIRO JÚNIOR, G. A. **Instalações Hidráulicas Prediais**: Usando tubos de PVC e PPR. 3. Ed. São Paulo: Blucher, 2010.

CAMPOS, J. R. **Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo**. Rio de Janeiro, 1999.

CARVALHO JÚNIOR, R. **Instalações Hidráulicas e o Projeto de Arquitetura**. 7. Ed. São Paulo: Blucher, 2013.

_____. **Instalações Prediais Hidráulico-Sanitárias**: Princípios básicos para a elaboração de projetos. São Paulo: Blucher, 2014.

CLIMATEMPO, 2021. **Climatologia e histórico de previsão do tempo em Garopaba, BR.** Disponível em: < <https://www.climatempo.com.br/climatologia/785/garopaba-sc>>. Acesso em 06 mai. 2021.

COSTA FILHO, W. D. et al. **Noções Básicas sobre Poços Tubulares:** cartilha informativa. Recife: Editora CPRM, 1998.

FEITOSA, Fernando A.C. et al. **Hidrogeologia:** conceitos e aplicações. Rio de Janeiro: Editora CPRM, 2008.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (FIESP). **Conservação e reuso de água em edificações.** São Paulo, Prol, 2005.

FORTLEV. **Especificações de produto:** Tanque Slim de Polietileno 600 Litros. 2019. Disponível em: < <https://www.fortlev.com.br/produtos/meio-ambiente/solucoes-fortlev-armazenamento-agua-da-chuva/tanque-slim-de-polietileno-600l/#produtoEspecificacoes>>. Acesso em 23 abr. 2021.

FREEZE, A. R.; CHERRY J. A. **Água Subterrânea.** São Paulo: Editora Instituto Água Sustentável, 2017.

GIRARDI NETO, J.; SILVA, J. D.; PINHEIRO, I. G. Balanço de massa no tratamento de resíduos sólidos orgânicos provenientes de restaurantes em biorreator. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 3, p. 491-499, mai. 2017. Disponível em: < https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522017000300491>.

GONÇALVES, R. F. **Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água.** Rio de Janeiro: ABES, 2009.

HOME BIOGÁS, 2020. **Perguntas frequentes.** Disponível em < <https://homebiogas.com.br/perguntas-frequentes/>> Acessado em 04 de abril de 2021.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2017:** Abastecimento de água e esgotamento sanitário. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/30/84366>>. Acesso em 20 fev. 2021.

MACINTYRE, A. J. **Instalações Hidráulicas: prediais e industriais.** 3. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996.

_____. **Instalações Hidráulicas: prediais e industriais.** 4. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

REZENDE, J. H.; CARBONI, M.; MURGEL, M. A. T.; CAPPS, A. L. A. P.; TEIXEIRA, H. L.; SIMÕES, G. T. C.; RUSSI, R. R.; LOURENÇO, B. L. R.; OLIVEIRA, C. A. Composição gravimétrica e peso específico dos resíduos sólidos urbanos em Jaú, SP. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 1, p. 1-8, mar. 2013. Disponível em: < https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522013000100001&lng=pt&tlng=pt>.

RINNAI BRASIL. **Manual do produto Aquecedor a Gás REU-E480 FEA**. Mogi das Cruzes, 2020. Disponível em: < <https://www.rinnai.com.br/uploads/catalogo/183.pdf>>. Acesso em 04 de mai. 2021.

SNSA, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Tecnologias de Digestão Anaeróbia com Relevância para o Brasil**: substratos, digestores e uso de biogás. 1. Ed. Brasília, 2015.

TCHOBANOGLIOUS, G. et al. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos**. 5. Ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

TECNOTRI. **Especificações de produto**: Cisterna Vertical Modular 600 Litros. Reúso de água. 2018. Disponível em: < <https://cisternas.tecnotri.com.br/produto/cisterna-vertical-modular-600-litros-kit-reuso-de-agua/>>. Acesso em 23 abr. 2021.

TIGRE S/A, 2013. **Catálogo Técnico**: Linha Predial – Soldável. Disponível em < https://tigrecombr-prod.s3.amazonaws.com/default/files/produtos/ficha-tecnica/linha_1_0.pdf> Acessado em 01 de maio de 2021.

TIGRE S/A, 2016. **Catálogo Técnico**: Linha Predial – Aquatherm. Disponível em < <https://www.tigre.com.br/themes/tigre2016/downloads/catalogos-tecnicos/ct-aquatherm.pdf>> Acessado em 31 de março de 2021.

TRICASE, C.; LOMBARDI, M. Environmental analysis of biogas production systems. **Future Science**, Londres, n. 3, p. 749-760, 2012.


VASCONCELOS, M. B. Poços para captação de águas subterrâneas: revisão de conceitos e proposta de nomenclatura. **XVIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**, Fortaleza, p. 1-12, fev. 2015.

VERÓL, A. P. et al. **Sistemas prediais hidráulicos e sanitários**: projetos práticos e sustentáveis. 1. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2019.


VON SPERLING, M.; SEZERINO, P. H. (2018). **Dimensionamento de wetlands construídos no Brasil**. *Boletim wetlands Brasil*, Edição Especial, dezembro/2018. 65 p. ISSN 2359-0548. Disponível em: <<http://gesad.ufsc.br/boletins/>>.

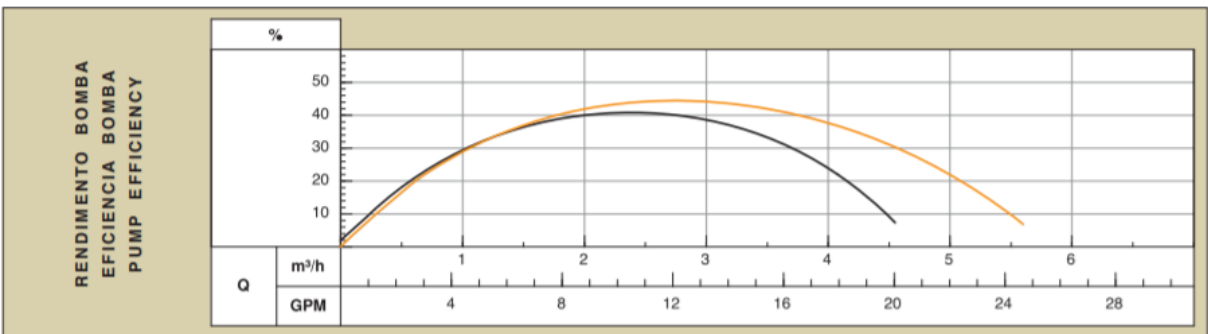
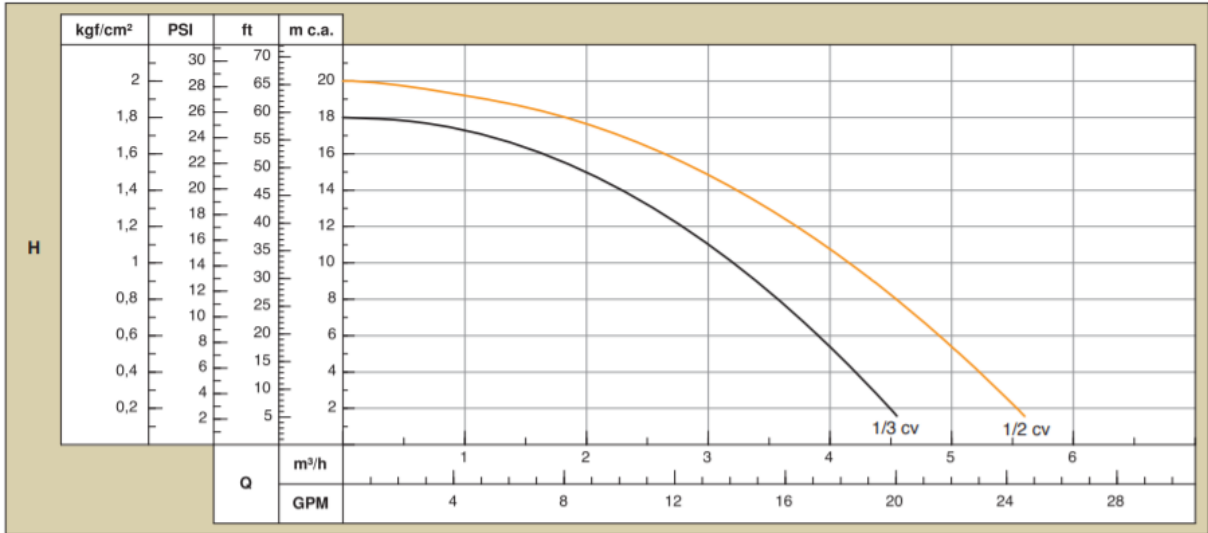
ANEXOS

**ANEXO A – PERDAS DE CARGA LOCALIZADAS – EQUIVALÊNCIA EM METROS
DE TUBULAÇÃO DE PVC RÍGIDO**

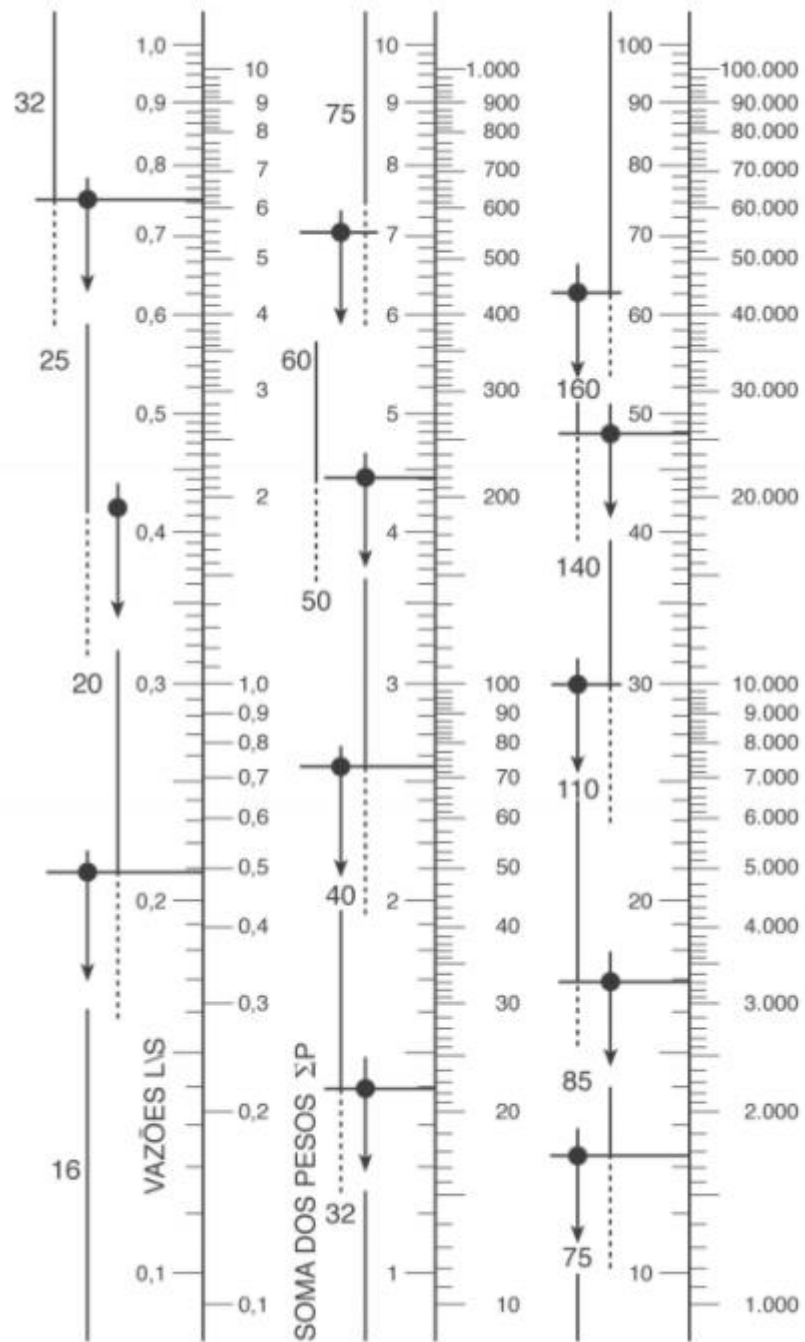
DIÂMETROS										
DN mm		20	25	32	40	50	60	75	85	110
Ref. pol.		1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4
Joelho 90°		1,1	1,2	1,5	2,0	3,2	3,4	3,7	3,9	4,3
Joelho 45°		0,4	0,5	0,7	1,0	1,0	1,3	1,7	1,8	1,9
Curva 90°		0,4	0,5	0,6	0,7	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
Curva 45°		0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
TE 90° passagem direta		0,7	0,8	0,9	1,5	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6
TE 90° saída de lado		2,3	2,4	3,1	4,6	7,3	7,6	7,8	8,0	8,3
TE 90° saída bilateral		2,3	2,4	3,1	4,6	7,3	7,6	7,8	8,0	8,3
Entrada normal		0,3	0,4	0,5	0,6	1,0	1,5	1,6	2,0	2,2
Entrada de borda		0,9	1,0	1,3	1,8	2,3	2,8	3,3	3,7	4,0
Saída de canalização		0,8	0,9	1,3	1,4	3,2	3,3	3,5	3,7	3,9
Válvula de pé e crivo		8,1	9,5	13,3	15,5	18,3	23,7	25,0	26,8	28,6
Válvula de retenção tipo leve		2,5	2,7	3,8	4,9	6,8	7,1	8,2	9,3	10,4
Válvula de re- tenção pesado		3,6	4,1	5,8	7,4	9,1	10,8	12,5	14,2	16,0
Registro globo aberto		11,1	11,4	15,0	22,0	35,8	37,9	38,0	40,0	42,3
Registro gaveta aberto		0,1	0,2	0,3	0,4	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0
Registro ângulo aberto		5,9	6,1	8,4	10,5	17,0	18,5	19,0	20,0	22,1

ANEXO B – ÁBACOS PARA DETERMINAÇÃO DO RENDIMENTO DA BOMBA

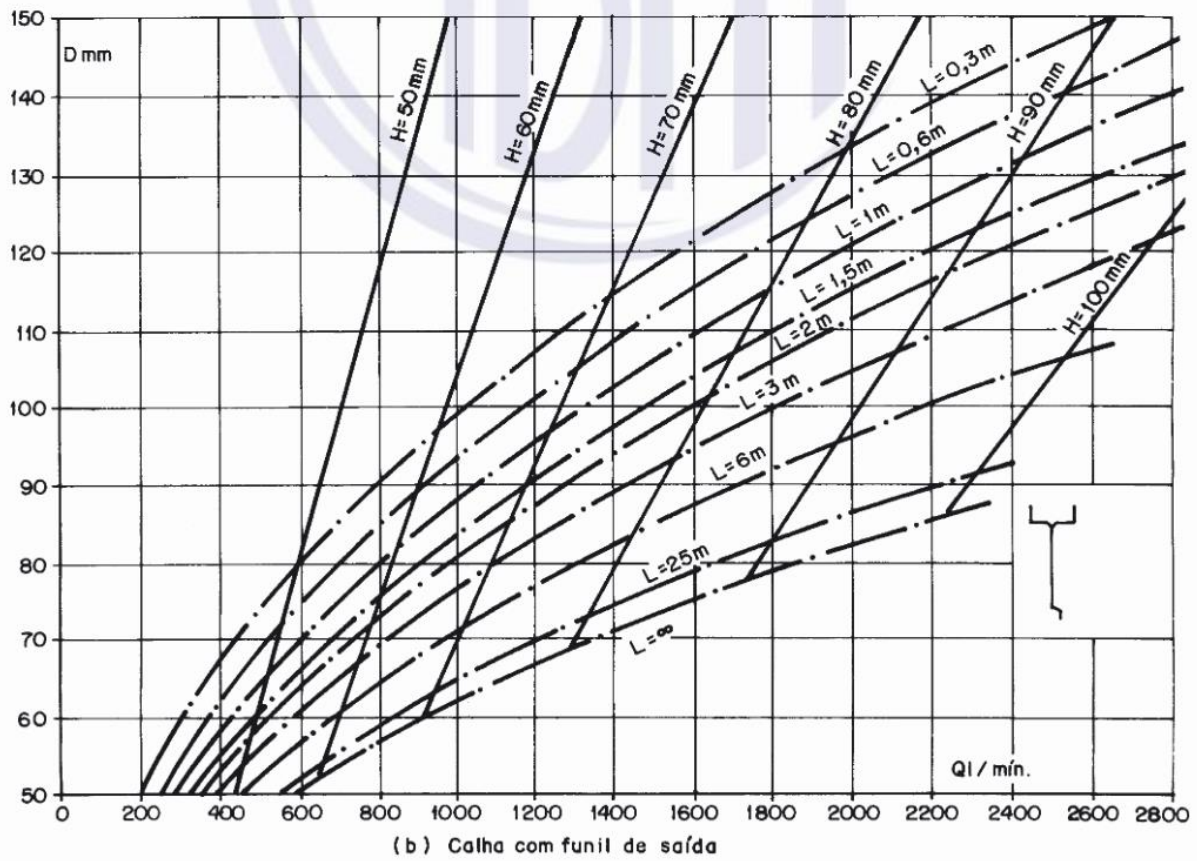
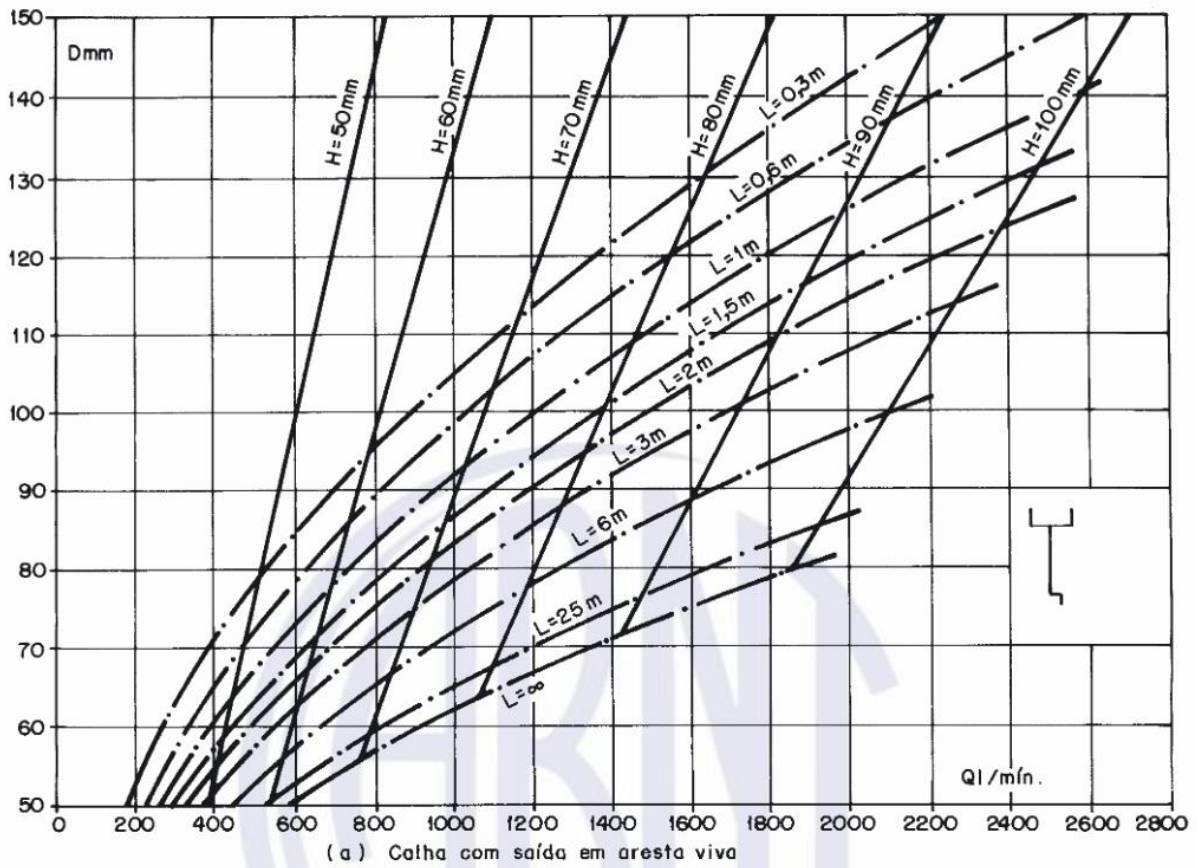
	MODELO	BC-98	93385	sch NAC
	MODEL			60 Hz
Sucção/Succión/Suction	3/4"	Potência/Potencia/Power [kW(cv)]	0,25 (1/3)	0,37 (1/2)
Recalque/Descarga/Discharge	3/4"	Rotor/Impulsor/Impeller [mm]	107	107



ANEXO C – NOMOGRAMA DE PESOS, VAZÕES E DIÂMETROS



**ANEXO D – ÁBACOS PARA DIMENSIONAMENTO DOS CONDUTORES
VERTICAIS DE ÁGUAS PLUVIAIS**



**ANEXO E – VISTA DE CORTE COM A REPRESENTAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS
SUPERIORES DE ÁGUA FRIA E DE REUSO**

