

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos

Ana Luiza Cordeiro

**ASPECTOS OPERACIONAIS E DE CUSTOS PARA A IMPLANTAÇÃO DE PRÁTICAS E
TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS UNIFAMILIARES:
um estudo de caso na cidade de Belo Horizonte/MG**

Belo Horizonte
2023

Ana Luiza Cordeiro

**ASPECTOS OPERACIONAIS E DE CUSTOS PARA A IMPLANTAÇÃO DE PRÁTICAS E
TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS UNIFAMILIARES:
um estudo de caso na cidade de Belo Horizonte/MG**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Meio Ambiente

Linha de pesquisa: Caracterização, Prevenção e Controle da Poluição

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Coutinho de Paula

Belo Horizonte
2023

C794a Cordeiro, Ana Luiza.
Aspectos operacionais e de custos para a implantação de práticas e tecnologias sustentáveis em edificações residenciais unifamiliares [recurso eletrônico] : um estudo de caso na cidade de Belo Horizonte/MG / Ana Luiza Cordeiro. – 2023.
1 recurso online (145 f.: il., color.) : pdf.

Orientador: Eduardo Coutinho de Paula.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Apêndices: f. 134-145.

Bibliografia: f. 121-133.
Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Engenharia sanitária - Teses. 2. Meio ambiente - Teses. 3. Energia - Consumo - Teses. 4. Água - Consumo - Teses. 5. Resíduos sólidos - Teses. 6. Sustentabilidade - Teses. 7. Custos - Teses. 8. Renda per capita - Teses. 9. Serviços públicos - Teses. 10. Energia solar - Teses. 11. Águas pluviais - Reaproveitamento - Teses. I. Paula, Eduardo Coutinho de. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 628(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
[ESCOLA DE ENGENHARIA]
COLEGIADO DO CURSO DE GRADUAÇÃO / PÓS-GRADUAÇÃO EM [SANEAMENTO, MEIO AMBIENTE E RECURSOS
HÍDRICOS]

FOLHA DE APROVAÇÃO

"Aspectos Operacionais e de Custos Para A Implantação de Práticas e Tecnologias Sustentáveis Em Edificações Residenciais Unifamiliares: Um Estudo de Caso Na Cidade de Belo Horizonte/mg"

ANA LUIZA CORDEIRO

Dissertação defendida e aprovada pela banca examinadora constituída pelos Senhores:

Prof. Eduardo Coutinho de Paula

Prof. Eleonora Sad de Assis

Prof. Marcos Alberto Oss Vaghetti

Aprovada pelo Colegiado do PG SMARH

Versão Final aprovada por

Profa. Priscilla Macedo Moura

Prof. Eduardo Coutinho de Paula

Coordenadora

Orientador

Belo Horizonte, 12 de maio de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **Eduardo Coutinho de Paula, Professor do Magistério Superior**, em 12/05/2023, às 13:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marcos Alberto Oss Vaghetti, Usuário Externo**, em 16/05/2023, às 15:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Eleonora Sad de Assis, Professora do Magistério Superior**, em 19/05/2023, às 18:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2298665** e o código CRC **D51B5714**.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Professor Eduardo Coutinho de Paula pelo auxílio em todo este período de orientação, assim como ao David Montero Dias, pelas contribuições e esclarecimentos prestados em relação à sua pesquisa que serviu como base para uma parte deste trabalho. Às empresas que se disponibilizaram a enviar as informações de custos de implementação das tecnologias estudadas, pela confiança em apresentar estes dados que possuem confidencialidade, por terem relação com a concorrência de mercado. Agradeço, ainda, à Companhia Energética de Minas Gerais, à Companhia de Saneamento de Minas Gerais, à Superintendência de Limpeza Urbana da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte e ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos - UFMG. Por fim, um agradecimento especial ao meu namorado Ronan e minha sobrinha favorita, Manuella, por terem propiciado momentos de tranquilidade ao longo da elaboração deste estudo.

RESUMO

Nas últimas décadas, as questões e os desafios ambientais estão cada vez mais em pauta, principalmente em relação aos impactos socioambientais adversos provocados pelas atividades antrópicas e às inseguranças sobre cenários futuros. Ao se informar sobre o fato de que questões do dia a dia também afetam o meio ambiente, uma parcela da população busca por mudanças no seu estilo de vida. Por passarem grande parte do dia em suas casas, é neste local que uma pessoa/família pode ocasionar grande pressão sobre o meio ambiente. Desde o consumo de água e energia para as atividades cotidianas, demanda alimentícia, geração de resíduos sólidos e efluentes sanitários, estas ações podem ocasionar impactos ambientais adversos, caso sejam mal gerenciadas, dependendo das demandas que a família possui e que são atendidas por serviços prestados pela prefeitura e outros serviços públicos. Nesse amplo contexto, o objetivo deste trabalho foi analisar aspectos operacionais e de custos para a implantação de práticas e tecnologias sustentáveis domiciliares na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, considerando moradias já construídas. Neste estudo, também foi feita análise da aplicabilidade de modelos propostos previamente para estimar o consumo de água e de energia e a geração de resíduos sólidos com base na renda *per capita* populacional, correlacionando os dados obtidos pelos modelos com os dados atuais disponibilizados pelas organizações responsáveis pela gestão de cada um destes serviços. Estes dados também foram empregados para o pré-dimensionamento e levantamento de custos de sistemas: solar fotovoltaico, solar térmico, aproveitamento de águas pluviais e telhados verdes. Foi possível verificar que os modelos analisados não obtiveram atualmente valores satisfatórios ao estimar a geração e o consumo total para a população do município de Belo Horizonte, apresentando erros relativos na ordem de 47%, 80% e 41%. Assim, recomenda-se a necessidade de realizar recalibrações nos modelos para a sua utilização. Pôde-se perceber, entretanto, que a estimativa *per capita* do consumo de água e da geração de resíduos sólidos apresentou valores próximos aos registrados pelas organizações responsáveis em todas as classes sociais avaliadas. Por meio do levantamento de custos médios para a instalação das tecnologias Aproveitamento de Águas Pluviais, Sistema Solar Térmico, Sistema Solar Fotovoltaico, Telhado Verde e Gestão de Resíduos Sólidos, foi possível verificar que possuem diferentes custos aquisitivos, em uma faixa variando entre R\$ 49,90 e R\$ 129.608,00. Em relação à viabilidade econômica, dentre as soluções avaliadas, apenas um tipo de reservatório, no caso de um domicílio que não pague o custo social de água, e a implementação de sistema solar fotovoltaico da Fornecedora 3 mostraram-se bons investimentos em termos de prazo de retorno. Na análise do Payback, TIR e VPL, as demais tecnologias não foram satisfatórias. Assim, para famílias pertencentes às classes com menor renda, a dificuldade para implementação destas tecnologias é maior. Isso ocorre devido ao fato de a renda ser convertida em gastos essenciais. Quanto às famílias de maiores rendimentos, a possibilidade do seu uso é maior, considerando seu maior poder aquisitivo.

Palavras-chave: Tecnologias sustentáveis domiciliares. Avaliação de modelos. Pré-dimensionamento. Levantamento de custos. Belo Horizonte.

ABSTRACT

In recent decades, environmental issues and challenges are increasingly on the agenda, especially in relation to adverse socio-environmental impacts caused by anthropic activities and insecurities about future scenarios. When learning about the fact that everyday issues have also killed the environment, a portion of the population seeks changes in their lifestyle. As they spend most of their day at home, this is where a person/family can put great pressure on the environment. From water and energy consumption for daily activities, food demand, generation of solid waste and sanitary effluents, these actions can cause adverse environmental impacts, if poorly managed, depending on the demands that a family has and that are met by services provided by city hall and other public services. In this broad context, the objective of this work was to analyze operational and cost aspects for the implementation of residential practices and technologies in the city of Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil, considering houses already built. In this study, an analysis was also made of the applicability of previously standardized models to estimate water and energy consumption and solid waste generation based on per capita population income, correlating the data obtained by the models with the current data made available by the responsible organizations for managing each of these services. These data were also used for the pre-dimensioning and costing of systems: solar photovoltaic, solar thermal, rainwater harvesting and green roofs. It was possible to verify that the analyzed models did not currently obtain high values when estimating generation and total consumption for the population of the municipality of Belo Horizonte, presenting relative errors in the order of 47%, 80% and 41%. Thus, it is recommended the need to perform recalibrations in the models for their use. It could be seen, however, that the per capita estimate of water consumption and solid waste generation presented values close to those registered by the responsible organizations in all social classes evaluated. By surveying the average costs for installing the technologies Rainwater Harvesting, Solar Thermal System, Solar Photovoltaic System, Green Roof and Solid Waste Management, it was possible to verify that they have different acquisition costs, in a range ranging from R\$ 49.90 to R\$ 129.608,00. In terms of economic viability, among the evaluated solutions, only one type of reservoir, in the case of a household that does not pay the social cost of water, and the implementation of a photovoltaic solar system by Supplier 3 proved to be good investments in terms of payback period. In the Payback, IRR and NPV analysis, the other technologies were not satisfactory. Thus, for families belonging to classes with lower income, the difficulty of implementing these technologies is greater. This is due to the fact that income is converted into essential expenses. As for families with higher incomes, the possibility of its use is greater, considering their greater purchasing power.

Keywords: Sustainable home technologies. Model evaluation. Pre-dimensioning. Cost survey. Belo Horizonte.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Desenho esquemático das demandas e gerações de impactos relacionados a um domicílio convencional	23
Figura 2 - Desenho esquemático das demandas e gerações de impactos relacionados a um domicílio com aplicação de práticas e tecnologias sustentáveis	24
Figura 3 - Desenho esquemático dos componentes de um telhado verde.....	33
Figura 4 - Principais componentes de um Sistema Solar Fotovoltaico.....	37
Figura 5 - Principais componentes de um Sistema de Aquecimento Solar	42
Figura 6 - Países analisados.....	56
Figura 7 – Síntese da metodologia empregada na pesquisa	62
Figura 8- Mapa da localização do município de Belo Horizonte em relação ao estado de Minas Gerais e o Brasil	63
Figura 9- Medidas e aspecto das duas cisternas que foram orçadas pelo Fornecedor 1	84
Figuras 10 e 11 – Fotografias dos reservatórios de menores volumes levantados...	87
Figura 12- Irradiância para cidade de Belo Horizonte	92
Figura 13- Imagem ilustrativa da composteira doméstica com minhocas	101
Figura 14- Aspectos do Homebiogas	102
Figura 15- Desenho esquemático do Homebiogas	103
Figura 16- Balde de 12 L para coleta de resíduos orgânicos	104
Figura 17- Localização dos Ecopontos Massalas	105

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Componentes necessários para sistema de aproveitamento de águas pluviais	28
Quadro 2 – Camadas do telhado verde	32
Quadro 3 – Componentes de um Sistema Solar Fotovoltaico e suas funções.....	38
Quadro 4 – Componentes de um Sistema de Aquecimento Solar e suas funções ...	43
Quadro 5 – Diferentes classificações que podem ser dadas a um Sistema de Aquecimento Solar	43
Quadro 6 – Tipos de resíduos sólidos urbanos	48
Quadro 7 – Fatores que influenciam no processo de compostagem	51
Quadro 8 – Vantagens de hortas urbanas por categorias	54
Quadro 9 – Fatores que envolvem o processo.....	55
Quadro 10 – Quadro comparativo da implantação de telhados verdes e aproveitamento de águas pluviais em diferentes países	57
Quadro 11 – Quadro comparativo da gestão de resíduos sólidos em diferentes países	59
Quadro 12 – Quadro comparativo da implantação de energia solar em diferentes países.....	60
Quadro 13 – Base de dados consultada para obtenção de cada variável	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Renda familiar mensal estimada para cada classe econômica da Região Metropolitana de Belo Horizonte	65
Tabela 2 – Tamanho do telhado para uma residência popular e para uma residência de alto padrão	67
Tabela 3 – Dados referenciais apresentados no Anexo C da norma ABNT NBR 15569:2020	71
Tabela 4 – Distribuição da população de Belo Horizonte/MG por classe econômica	79
Tabela 5 – Renda mensal per capita estimada de Belo Horizonte/MG base ano 2022	80
Tabela 6 – Consumo diário de água <i>per capita</i> e volume consumido por mês para cada classe econômica em Belo Horizonte/MG.....	80
Tabela 7 – Exemplo de Tabela.....	81
Tabela 8 – Geração diária de resíduos sólidos <i>per capita</i> e geração mensal por classe econômica em Belo Horizonte/MG.....	82
Tabela 9 – Volume de chuva aproveitável / tamanho do reservatório para uma residência popular e uma residência de padrão alto	83
Tabela 10 – Componentes e aspectos das cisternas para aproveitamento de água de chuva.....	84
Tabela 11 – Itens opcionais fornecidos pela empresa consultada	85
Tabela 12 – Custos para aquisição de reservatórios de menores volumes	86
Tabela 13 – Dados dos equipamentos empregados para o pré-dimensionamento do sistema solar térmico para casa popular	88
Tabela 14 – Dados dos equipamentos empregados para o pré-dimensionamento do sistema solar térmico para residência de alto padrão	88
Tabela 15 – Dados do pré-dimensionamento do sistema solar térmico para ambas casas analisadas.....	89
Tabela 16 – Dados do orçamento do Fornecedor consultado.....	90
Tabela 17 –Pré-dimensionamento de sistema solar fotovoltaico para o consumo médio residencial de energia elétrica em Belo Horizonte e o valor mínimo recomendado por empresas de instalação de tais sistemas.....	93
Tabela 18 – Equipamentos inclusos no orçamento do Fornecedor 1.....	93
Tabela 19 – Custos considerados nos orçamentos do Fornecedor 1	94

Tabela 20 – Quadro comparativo entre as propostas 1 e 2 do Fornecedor 2	94
Tabela 21 – Equipamentos inclusos no orçamento do Fornecedor 2.....	95
Tabela 22 – Quadro comparativo de todos os orçamentos para Sistema Solar Fotovoltaico	96
Tabela 23 – Quadro comparativo das propostas enviadas pelo Fornecedor 2	99
Tabela 24 – Quadro comparativo de todos os orçamentos para Telhados Verdes...	99
Tabela 25 – Quadro comparativo dos custos para implantação das soluções em gestão de resíduos sólidos orgânicos	105
Tabela 26 – Análise do <i>payback</i> para implementação de cisternas de água da chuva para uma casa popular e uma casa de alto padrão	106
Tabela 27 – Análise do <i>payback</i> para implementação reservatórios de menores volumes para custo convencional e custo social.....	108
Tabela 28 – Análise do <i>payback</i> para implementação Sistema Solar Térmico para custo convencional e custo social	109
Tabela 29 – Análise do <i>payback</i> para implementação de sistema solar fotovoltaico para uma residência sob taxa normal de cobrança de energia	111
Tabela 30 – Análise do <i>payback</i> para implementação de sistema solar fotovoltaico para uma residência sob taxa de cobrança de energia para baixa renda	112
Tabela 31 – Tabela dos custos médios para implantação das tecnologias estudadas	113

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEP - Associação de Empresas de Pesquisa

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

CDE - Conta de Desenvolvimento Energético

CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais

CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos

COFINS - Contribuição para Financiamento da Seguridade Social

COPASA - Companhia de Saneamento de Minas Gerais

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito

CTR Macaúbas - Central de Tratamento de Resíduos Macaúbas

DPS - Dispositivos de Proteção Contra Surtos

GD - Geração Distribuída

HSP - Horas de sol pleno

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IBOPE - Instituto Brasileiro de Opinião Pública e Estatística

ICMS - Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

IDH - Índice de Desenvolvimento Humano

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

INPI - Instituto Nacional de Propriedade Industrial

IPTU - Imposto sobre a Propriedade Predial e Territorial Urbana

IPI - Imposto Sobre Produtos Industrializados

LEV - Locais de Entrega Voluntária

ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

OMS - Organização Mundial da Saúde

OTAN - Organização do Tratado do Atlântico Norte

PADIS - Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de Semicondutores

PBH - Prefeitura de Belo Horizonte

PIB - Produto Interno Bruto

PIS - Programa de Integração Social

PMEE - Produção Média Mensal de Energia Específica

PMGIRS-BH - Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Belo Horizonte

PNAD - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios

PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos

PQs - Pontos Quânticos

PR - *Performance Rate*

RSU - Resíduos Sólidos Urbanos

RDO - Resíduos Domiciliares

SAS - Sistemas de Aquecimento Solar

SCEE - Sistema de Compensação de Energia Elétrica

SLU - Superintendência de Limpeza Urbana

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SuDS - *Sustainable Drainage Systems*

TMA - Taxa Mínima de Atratividade

TIR - Taxa de retorno do Investimento

UE - União Europeia

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

VPL - Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	OBJETIVOS	20
2.1	Objetivo Geral	20
2.2	Objetivos Específicos	20
3	REVISÃO DA LITERATURA	21
3.1	O meio urbano e a sustentabilidade.....	21
3.2	Relação entre consumo de água e energia e geração de resíduos sólidos com a renda <i>per capita</i>	22
3.3	Práticas e tecnologias sustentáveis domésticas	23
3.3.1	Reúso de águas e utilização de águas cinzas	24
3.3.2	Alternativas energéticas.....	33
3.3.3	Gestão doméstica de resíduos sólidos urbanos	46
3.3.4	Abastecimento de alimentos.....	52
3.4	Adoção de tecnologias sustentáveis por usuários	55
3.5	Regulamentações e estratégias de incentivo internacionais.....	56
4	MATERIAL E MÉTODO	62
4.1	Levantamento de informações sobre as práticas e tecnologias.....	62
4.2	Caso em estudo	63
4.2.1	Análise da distribuição populacional e renda familiar por classe e por habitante	65
4.3	Levantamento de custos	66
4.3.1	Parâmetros de simulação – Concepção da casa modelo	66
4.3.2	Avaliação de modelos para estimativa de consumo de água e energia e geração de resíduos sólidos	67
4.3.3	Pré-dimensionamento de sistemas e levantamento de custos	69
4.3.4	Análise da Viabilidade Econômica	76
4.3.5	Comparação com renda familiar	78
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	79
5.1	Análise da distribuição populacional e renda familiar por classe econômica e por habitante.....	79
5.2	Avaliação de modelos para estimativa de consumo de água e energia e geração de resíduos sólidos	80
5.2.1	Análise do consumo de água.....	80
5.2.2	Análise do consumo de energia elétrica	81
5.2.3	Análise da geração de resíduos sólidos	82
5.3	Pré-dimensionamento de sistemas e levantamento de custos	83

5.3.1	Aproveitamento de águas pluviais	83
5.3.2	Sistema solar térmico.....	87
5.3.3	Sistema solar fotovoltaico	91
5.3.4	Telhado verde	97
5.3.5	Gestão de resíduos sólidos orgânicos	100
5.4	Análise da viabilidade econômica	106
5.4.1	Aproveitamento de águas pluviais	106
5.4.2	Sistema solar térmico.....	109
5.4.3	Sistema solar fotovoltaico	110
5.5	Comparação com renda familiar	113
6	CONCLUSÕES	118
	REFERÊNCIAS	120
	APÊNDICE A – Ofícios encaminhados à COPASA e à CEMIG.....	133
	APÊNDICE B – Modelos de e-mails encaminhados às empresas para solicitação de orçamento	134

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, as questões e os desafios ambientais estão cada vez mais em pauta, principalmente em relação aos impactos socioambientais adversos provocados pelas atividades antrópicas e às inseguranças sobre cenários futuros. Apesar de ainda vivermos em uma sociedade baseada no intenso consumo de recursos naturais e na geração de resíduos, a conscientização sobre essa problemática não é recente. Tendo iniciado, com maior magnitude, no final do século XX, destacando-se a realização de eventos como a Conferência de Estocolmo em 1972 e a Rio 92 (SILVA, 2020).

Embora não seja um assunto atual, ainda assim, a atenção às perspectivas ambientais não é considerada uma prioridade nas comunidades humanas. Geralmente, esta temática é avaliada principalmente por atividades econômicas, o que é relevante visto que são as maiores geradoras de impactos ambientais adversos. No geral, este fato não têm relação expressiva com uma real consciência de responsabilidade própria das corporações, mas sim uma pressão cada vez maior ocasionada pela comunidade em geral e por organismos internacionais ligados ao meio ambiente. Por parte das corporações, isto ocorre por meio do *marketing* verde, incumbências legislatórias ou incentivos fiscais, bem como pela prática chamada de *greenwashing*.

Ao se informar sobre o fato de que questões do dia a dia também afetam o meio ambiente e sobre a fundamental importância deste, uma parcela da população busca por mudanças no seu estilo de vida de modo a conservar o planeta com condições adequadas para as gerações atuais e futuras. Diversas práticas rotineiras estão sendo adotadas nas últimas décadas: deixam de utilizar transportes movidos por combustíveis fósseis, de se alimentar de carne, de usar materiais em plástico, como sacolas e embalagens, dentre outras.

Por passarem grande parte do dia em suas casas, é neste local que uma pessoa/família pode ocasionar grande pressão sobre o meio ambiente. Desde o consumo de água e energia para as atividades cotidianas, demanda alimentícia, geração de resíduos sólidos e efluentes sanitários, estas ações podem ocasionar

impactos ambientais adversos, caso sejam mal gerenciadas e por meio das demandas que a família possui e que são atendidas por serviços prestados pela prefeitura e outros serviços públicos.

Nessa linha, uma possível tendência é a aplicação de tecnologias sustentáveis em domicílios ou mesmo a construção das chamadas “casas verdes”. No caso de casas já construídas, estas pessoas podem optar pela inserção de práticas e tecnologias sustentáveis, tais como energias renováveis, sistemas de aproveitamento de águas pluviais, sistemas solares térmicos e fotovoltaicos, segregação de resíduos sólidos, compostagem, dentre outros. Por se tratar de um país tropical, o Brasil possui diversas vantagens para o uso destes sistemas, como abundância de luz solar, chuvas, ventos e temperaturas adequadas (TAN, 2013).

Alguns estudos apontam que, em se tratando da questão energética, a microgeração, ou seja, a aplicação de tecnologias domésticas, pode reduzir custos e emissões de gases efeito estufa, além de proporcionar mudanças positivas nos padrões de consumo (CLAUDY et al., 2011). Outra vantagem encontra-se no fato de diminuir a dependência quanto ao abastecimento de água e energia por concessionárias locais, visto a crescente incerteza relacionada à maior ocorrência de escassez hídrica, que pode ocasionar “apagões”, aumento nas taxas cobradas pelo uso, dentre outros.

Ter uma horta em casa, por exemplo, além de ser um *hobbie*, permite a obtenção de alimentos com procedência conhecida e saudável, sem a utilização de insumos químicos que podem ser prejudiciais à saúde e os quais os usos são cada vez mais debatidos. Trata-se, também, de uma forma de educação ambiental para aqueles que vivem naquela moradia, possibilitando maior convivência com a natureza no ambiente urbano. Além disso, existem tecnologias que podem ser aplicadas e que permitem auxiliar no gerenciamento das águas de chuvas, como os telhados verdes. O excesso de pavimentação e impermeabilização das áreas urbanas causa inundações, um problema muito frequente nos grandes municípios, sendo que a aplicação de técnicas que busquem amenizar esta condição deveria ser incentivada pela prefeitura local.

Nesse amplo contexto, o objetivo deste trabalho foi analisar aspectos operacionais e de custos para a implantação de práticas e tecnologias sustentáveis domiciliares na

cidade de Belo Horizonte/MG, considerando moradias já construídas. Neste estudo, também foi feita análise da aplicabilidade de modelos propostos previamente para estimar o consumo de água e de energia e a geração de resíduos sólidos com base na *renda per capita* populacional, correlacionando os dados obtidos pelos modelos com os dados atuais disponibilizados pelas organizações responsáveis pela gestão de cada um destes aspectos.

Por fim, os dados estudados também foram empregados para o pré-dimensionamento e levantamento de custos de sistemas: solar fotovoltaico, solar térmico, reaproveitamento de águas pluviais, telhados verdes e gestão de resíduos sólidos orgânicos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Realizar análise de aspectos práticos e operacionais e fazer um levantamento dos custos médios para a implantação de tecnologias sustentáveis domiciliares na cidade de Belo Horizonte/MG considerando moradias unifamiliares já construídas.

2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar as principais tecnologias sustentáveis referentes a alternativas energéticas, a gestão de resíduos sólidos, ao uso da água e à agricultura urbana;
- Conceber parâmetros de análise para moradia unifamiliar composta por 3,1 moradores e localizada em Belo Horizonte/MG;
- Realizar análise da aplicabilidade de modelos prévios propostos para a estimativa de consumo de energia e água e de geração de resíduos sólidos a partir da renda *per capita* populacional;
- Fazer o pré-dimensionamento de sistemas solar térmico, solar fotovoltaico e de aproveitamento de águas pluviais;
- Realizar levantamento de custos médios das tecnologias disponíveis para a população de Belo Horizonte e verificar a viabilidade econômica de sua implementação;
- Avaliar, por meio da comparação com a renda familiar, a compatibilidade dos custos encontrados para a utilização das tecnologias estudadas.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 O meio urbano e a sustentabilidade

Verifica-se, nos últimos tempos, o crescimento populacional nas áreas urbanas. No Brasil, segundo a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) de 2015, 84,72% das pessoas vivem nas cidades. No meio urbano, há maior demanda de infraestrutura para propiciar serviços relacionados à água, luz, esgotos, hospitais, dentre outros. Ao atender estas questões, os prestadores de serviços públicos, muitas vezes, adotam práticas inadequadas ambientalmente, como disposição de resíduos em lixões, lançamento de efluentes sem tratamento em corpos hídricos, dentre outras. (OLIVEIRA *et al.*, 2021).

Este fato, alinhado às pressões ocasionadas pelo ser humano ao meio ambiente, vem levando ao agravamento da insustentabilidade geral. As cidades representam um ambiente hostil para a natureza e para as pessoas que nela vivem, principalmente àquelas com menor renda. Estas estão passíveis de viverem em locais com riscos de inundações, com a presença de esgotamento não tratado, dentre outras situações de vulnerabilidade. Porém, a problemática ambiental no meio urbano vem ultrapassando a barreira econômica, de forma que até mesmo a população mais abastada se encontra passível de sua influência (OLIVEIRA *et al.*, 2021).

O Brasil insere-se dentre o grupo de sete países da América Latina que necessitam de investimentos em infraestrutura urbana. Os principais problemas a serem enfrentados referem-se à mobilidade urbana, mau planejamento, poluição, vulnerabilidade à desastres naturais, falta de conformidade com leis trabalhistas, desemprego, crimes e baixa capacidade institucional e fiscal (MONTEIRO, 2021).

Alguns destes se alinham aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), os quais, necessitarão de investimentos de UR\$ 5 a 7 trilhões por ano até 2030. E, devido ao grande enfoque em atender questões de desenvolvimento sustentável, acredita-se que, em longo prazo, os ODS propiciarão em novos regulamentos para favorecer investimentos neste sentido (MONTEIRO, 2021).

O Novo Plano Diretor de Belo Horizonte (Lei nº 11.181/2019) considerou o desenvolvimento urbano com os ODS. Em sua concepção, são tratados, ainda, soluções técnicas-construtivas para concessão de benefício urbanístico, qual sejam: áreas verdes e permeáveis, economia energética, economia de água e gás, mobilidade e resíduos (MONTEIRO, 2021).

Desta forma, devem e estão sendo buscados meios de, também, tornar o ambiente urbano mais sustentável, por meio de projetos que propiciam melhor interação do ser humano com a natureza. Além disso, dispositivos legais e econômicos podem ser aplicados por governos de forma a potencializar tais mudanças (OLIVEIRA *et al.*, 2021).

3.2 Relação entre consumo de água e energia e geração de resíduos sólidos com a renda *per capita*

Diversos estudos prévios demonstram haver relação entre questões econômicas e o consumo de água e de energia e a geração de resíduos sólidos. Conforme Amaral *et al.* (2022), o poder aquisitivo, o custo e a necessidade de um bem interferem em seu consumo. Em suas análises, estes autores citaram estudos envolvendo a utilização do Produto Interno Bruto (PIB) *per capita* e a renda *per capita* pelo Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) para prever o consumo domiciliar de energia elétrica no Brasil. Os autores confirmaram que o aumento da qualidade de vida propicia aumento no consumo de eletricidade.

Existem, ainda, estudos que buscam verificar os impactos do crescimento econômico na qualidade do meio ambiente por meio da Curva de Kuznets Ambiental (CKA) proposta por Grossman e Krueger de 1991. Assim como a teoria da qual se baseia (Curva de Kuznets, 1955), a curva CKA propõe haver uma relação próxima a um “U” invertido entre estes aspectos. Ou seja, ocorre um aumento de um dado impacto ambiental com o crescimento econômico de um local, principalmente em países com baixos níveis de renda *per capita*; com a intensificação deste crescimento, até um certo patamar, os locais passam a dar maior valor para a qualidade ambiental, fazendo com que esta emissão de poluentes diminua. Esta análise já foi realizada para diversos impactos ambientais, como emissão de poluentes no ar, poluição das águas, desmatamento. Bayer *et al.* (2022) buscaram analisar o impacto do crescimento

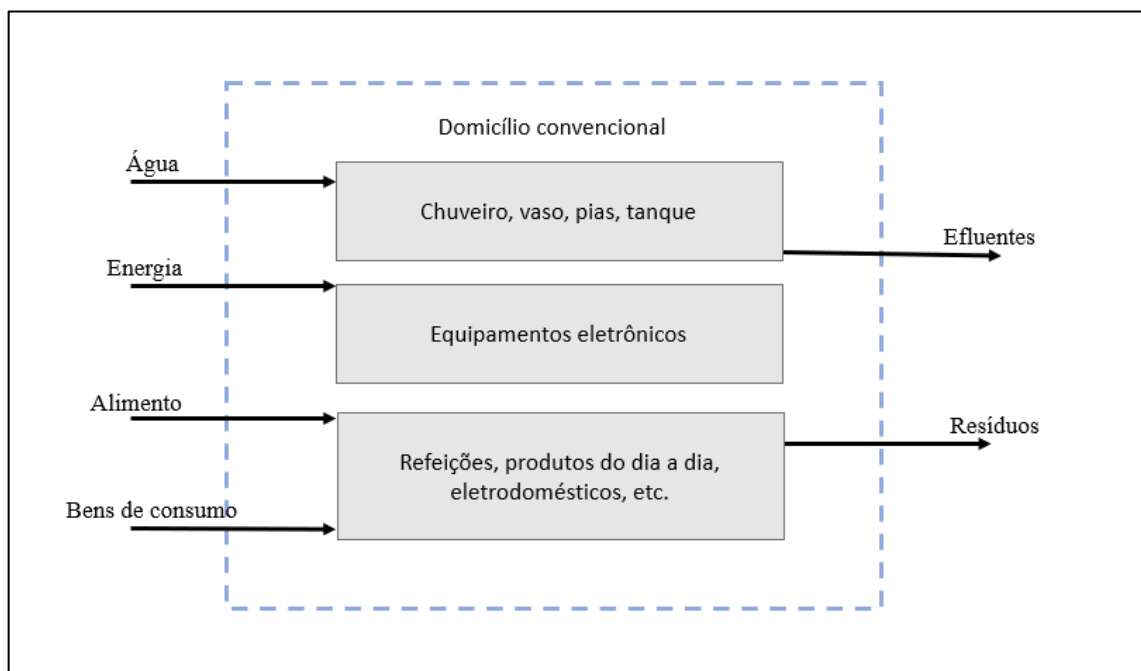
econômico na geração de resíduos sólidos domiciliares no Brasil. Foi possível concluir a correlação CKA para geração de resíduos sólidos domiciliares *per capita*, sendo o *Turning Point* em 198 mil reais.

Estimar estes parâmetros representa uma importante contribuição, tais como auxílio na formulação de políticas públicas, tomada de decisões referentes à proteção do meio ambiente e o crescimento econômico, bem como ampliação de sistemas de abastecimento de água (BAYER *et al.*, 2022; DIAS *et al.*, 2010; ROSA, 2022).

3.3 Práticas e tecnologias sustentáveis domésticas

A forma convencional de funcionamento de um domicílio, envolve a demanda, daqueles que ali vivem, basicamente por alimentos, bens de consumo e fontes de água e energia, assim ocorrendo a geração de efluentes líquidos e resíduos sólidos urbanos. O desenho esquemático apresentado na Figura 1 ilustra esta condição.

Figura 1- Desenho esquemático das demandas e gerações de impactos relacionados a um domicílio convencional



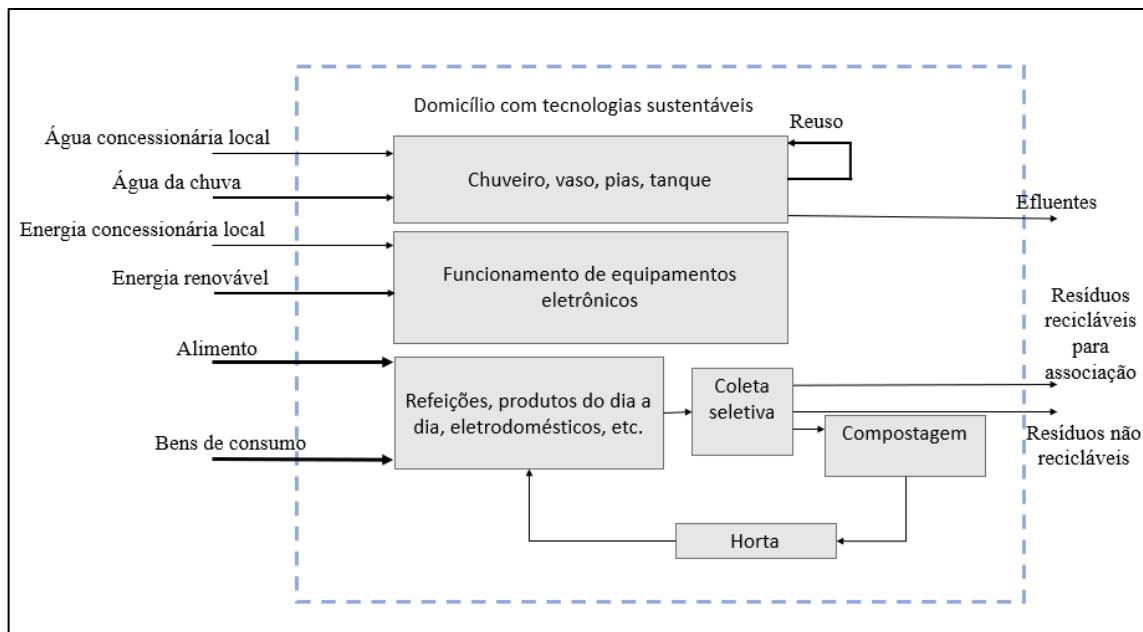
Fonte: autoria própria

Conforme mencionado anteriormente, o estilo de vida predominante no meio urbano está atrelado a impactos ambientais adversos em todas as suas demandas e gerações. Desde o cultivo de alimentos, manufatura de bens de consumo,

implantação de reservatórios de água, geração de efluentes, necessidade de disposição final de resíduos, dentre outros. Todas estas atividades são atreladas a impactos de maiores ou menores dimensões dependendo das condições empregadas para sua execução.

Sendo assim, existem novas formas de vida mais harmoniosas com o meio ambiente, como as que buscam empregar fontes energéticas alternativas, aproveitamento de águas pluviais, aproveitamento de resíduos sólidos, dentre outras. A Figura 2 ilustra uma maneira que estas práticas e tecnologias podem ser associadas.

Figura 2 - Desenho esquemático das demandas e gerações de impactos relacionados a um domicílio com aplicação de práticas e tecnologias sustentáveis



Fonte: autoria própria

Os tópicos seguintes apresentam mais aprofundamento sobre cada uma destas práticas e tecnologias ilustradas.

3.3.1 Reúso de águas e utilização de águas cinzas

A escassez de água é um problema vivenciado em muitos países ao longo de séculos. No Brasil, devido à aparente abundância de água, a população não demonstra preocupação com o quantitativo consumido, neste cenário, tecnologias que empregam o reúso de águas e a utilização de águas cinzas não se destacam. Entretanto, os recentes episódios de racionamento e insegurança hídrica vêm

servindo como uma forma de incentivo à adoção de técnicas de utilização de águas cinzas. Ainda são verificados obstáculos quanto à objeção dos usuários, aos riscos associados e à falta de regulamentação (SANTOS *et al.*, 2020).

Águas cinzas são efluentes oriundos de processos de limpeza e lavagem, excluindo pia de cozinha e máquina de lavar louça, os quais possuem elevada carga orgânica e gordura (KLEPA *et al.*, 2020). É uma prática interessante para locais com índice pluviométrico baixo ou em construções com pouca área de cobertura para captação de águas pluviais. Há necessidade da implantação de sistemas de tratamentos, visto, conforme NBR 13969:1997, existir a presença de agentes contaminantes, como óleos e graxas, fósforo total, fosfato, nitrogênio, nitratos, microrganismos, dentre outros, que podem provocar doenças graves aos usuários. Desta forma, apesar de demandarem menor exigência no tratamento para atingir níveis satisfatórios de qualidade, é necessário um sistema contendo tratamento preliminar, secundário e terciário que deverão ser definidos de acordo com os usos a serem empregados (FREITAS *et al.*, 2021).

O consumo de água varia conforme alguns fatores, tais como condições climáticas, faixa etária, nível de escolaridade, faixa socioeconômica, dentre outros (FREITAS *et al.*, 2021). Conforme a Organização Mundial da Saúde (OMS), o consumo mínimo de água necessário para uma pessoa viver com conforto e saúde é de 110 litros por dia e serve para saciar a sede, o cuidado da higiene pessoal e o preparo de alimentos. O Ministério das Cidades estima um consumo médio de 166 litros por dia pelos brasileiros, variável em cada estado da federação (FREITAS *et al.*, 2021).

O Brasil possui a Política Nacional de Recursos Hídricos, promulgada pela Lei 9.433 de 1997 e que busca propiciar disponibilidade de água em padrões adequados aos respectivos usos. Em relação ao reúso de águas e a utilização de águas cinzas, ainda não existe no país legislação que regule esta prática, porém verifica-se o seu surgimento em alguns municípios. Curitiba (Lei nº 10.785/2003) e Maringá (Lei nº 6.345/2003), no Paraná, possuem leis que regulamentam a reutilização de águas cinzas, enquanto Vitória (Lei nº 7079/2007), Espírito Santo, possui legislação referente à conservação, redução e racionalização do uso de águas em edificações públicas. São Paulo (Lei 12.526/2007) também possui normas para evitar a ocorrência de

enchentes e o aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis e o Rio de Janeiro possui a Lei nº 7463/2016 que aborda procedimentos para armazenamento de águas pluviais e cinzas (OLIVEIRA, L. *et al.*, 2019).

A Nova Lei nº 14.546, de 4 de abril de 2023, que altera a Lei nº 11.445/2007 (Lei do Saneamento Básico), apresenta diversos pontos que estavam em negociações pelo setor junto ao governo federal. Também incentiva o reúso de águas cinzas e o aproveitamento de águas de chuva ao estabelecer que a União deve estimular o seu uso em novas edificações e nas atividades paisagísticas, agrícolas, florestais e industriais, sendo necessário que passem por processo de tratamento que assegure uma utilização segura.

Em alguns países, é possível verificar diferentes cenários, nos quais já ocorre a utilização de águas cinzas e pluviais, como Alemanha, Estados Unidos da América e Japão. Neste último, existem programas de auxílio financeiro para o aproveitamento de águas pluviais (OLIVEIRA, L. *et al.*, 2019).

Nos locais em que a valorização da água já é realidade, é possível verificar que, aproximadamente, 49% e 48% da demanda de água é atendida por técnicas de utilização de águas cinzas e aproveitamento das águas de chuva, respectivamente (FREITAS *et al.*, 2021).

Porém, utilizar uma água que não seja proveniente de concessionária possui como ônus a responsabilidade pela gestão da quantidade e qualidade desta, assim, são demandados cuidados específicos para que não ocorra contaminações que a tornem imprópria para o consumo ou mesmo que não seja suficiente para atender às demandas da moradia (ANA, 2005).

Conforme mencionado anteriormente, não existem, no Brasil, normas que regulem o aproveitamento de águas cinzas, porém a Resolução nº 54 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) e a NBR 13969 são importantes documentos orientadores neste quesito (FREITAS *et al.*, 2021). Por envolver necessidade de mais interferências na estrutura do domicílio, o aproveitamento de águas cinzas não será considerado no

presente estudo, sendo abordado o uso das águas das chuvas, conforme seção seguinte.

3.3.1.1 Aproveitamento de águas pluviais

As águas pluviais são um recurso renovável e possibilitam o abastecimento de reservatórios, aquíferos, rios com água doce, dentre outros. O seu aproveitamento domiciliar envolve um sistema simples que capta a água escoada por uma superfície impermeável, armazenando-a e impedindo que escoe para os sistemas de micro e macrodrenagem existentes nas cidades. Esta água pode ser uma fonte alternativa para vários usos dentro do domicílio (KLEPA *et al.*, 2020).

A norma brasileira ABNT NBR 15.527:2007, denominada de “Água de chuva – aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos”, aborda aproveitamento desta água para “descargas em bacias sanitárias, irrigação de gramados e plantas ornamentais, lavagem de veículos, limpeza de calçadas e ruas, limpeza de pátios, espelhos d’água e usos industriais.” Define-se atualmente como água não potável aquela que não atende à Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde.

Conforme a ABNT NBR 15.527, as coberturas e telhados usados nesta técnica não podem possuir circulação de pessoas, veículos ou animais (OLIVEIRA *et al.* 2019).

A prática de aproveitamento de águas pluviais vem se expandindo nas últimas décadas no Brasil. Seu impacto ambiental pode ser considerado nulo ou baixo se comparado a outras tecnologias. Além disso, ao contrário do uso de água cinzas, depende de baixo grau de tratamento, podendo ser empregada na rega de jardins, lavagem de carros, calçadas, descargas no vaso sanitário, combate a incêndio, ar condicionado, fins paisagísticos, usos ornamentais entre outros (KLEPA *et al.*, 2020; OLIVEIRA *et al.* 2019).

A implantação de um sistema de aproveitamento de águas pluviais envolve os componentes apresentados no Quadro 1:

Quadro 1 – Componentes necessários para sistema de aproveitamento de águas pluviais

Área de captação	Superfície impermeável da edificação onde pode ser coletada água pluvial, como coberturas e fachadas.
Condutores	Elementos horizontais (calhas) e verticais (tubos) para direcionar a água captada para o sistema de armazenamento.
Sistema de descarte de água de limpeza	Para descarte automático ou manual da porção inicial da água de chuva, que carrega consigo os sedimentos presentes no telhado ou na superfície de coleta
Armazenamento	São reservatórios para guardar a água coletada e que devem ser dimensionados considerando a precipitação média da região e o consumo mensal
Tratamento de desinfecção	Depende da qualidade da água coletada e a destinação que será dada, poderão ser usadas diferentes tecnologias como derivados clorados, raios ultravioleta, ozônio e outros.

Fonte: Adaptado de Oliveira *et al.* (2019)

Para projetar um sistema de aproveitamento de águas pluviais, é importante determinar a área de captação, o coeficiente de escoamento superficial, quantidade de chuvas na região, os usos a serem empregados (demanda e qualidade), bem como projetar sistema de descarte, reservatório para armazenamento e sistemas complementares, como grades, filtros e tubulações. Para os estudos, devem ser consideradas as séries históricas e sintéticas das precipitações da região onde será feito o projeto (ABNT NBR 15.527:2007; KLEPA *et al.*, 2020).

O sistema deve ser composto por calhas e condutores horizontais e verticais que atendam à norma ABNT NBR 10844, além de dispositivos de remoção de detritos, tais quais grades e telhas que atendam à ABNT NBR 12213. Para maior eficiência da operação, pode ser empregado dispositivo para descarte da água de escoamento inicial, sendo recomendado que este seja automatizado. Este deverá ser dimensionado pelo projetista, porém, na falta de dados, a NBR 15527 recomenda o descarte de 2mm da precipitação inicial (ABNT NBR 15.527:2007).

Para dimensionamento do reservatório, devem ser observadas as recomendações apresentadas na norma ABNT NBR 12217. No projeto devem constar extravasor, dispositivo de esgotamento, cobertura, inspeção, ventilação e segurança. Em sua concepção, deve ser minimizado o turbilhamento para evitar a ressuspensão de sólidos e o arraste de materiais flutuantes. A saída deve ser próxima a superfície, aproximadamente 15 cm desta. Uma vez por ano, estes devem ser limpos e desinfetados com solução de hipoclorito de sódio (ABNT NBR 15.527:2007).

A tubulação da água de aproveitamento de águas pluviais deve ser diferenciada da água potável, assim como os reservatórios de distribuição (ABNT NBR 15.527:2007).

Este aproveitamento envolve um sistema de simples implantação e baixos custos, com rápido retorno do investimento no caso de locais com elevada presença de chuvas. Possui como desvantagem ser dependente da precipitação local, sem aplicação nos períodos de estiagem (OLIVEIRA *et al.* 2019). Conforme citado por Klepa *et al.* (2020), outras vantagens são:

- Menor demanda de água proveniente de abastecimento público, preservando água potável apenas para os usos que a demandam;
- Ganhos ambientais;
- Utiliza estruturas já existentes na edificação, como telhado, lajes e rampas;
- Água com qualidade para outros fins com pouco ou nenhum tratamento.
- Aumento da segurança hídrica;
- Benefícios para a prestadora de serviços, como redução de custos com tratamento;
- Menor pressão sobre sistemas de drenagem;
- Redução de risco de enxurradas.

Segundo Oliveira *et al.* (2019) Os cuidados que devem ser tomados para a implantação de aproveitamento de águas pluviais domiciliares são os seguintes:

- Implantação do reservatório próximo ao condutor vertical;
- Implantação de dispositivo para evitar turbulência da água no fundo do reservatório;
- Projetar pequena declividade no reservatório para facilitar limpeza;
- Utilização de tubulação com cores diferentes da água potável fornecida pela concessionária;
- Instalar placas avisando não se tratar de água potável;
- Evitar entrada de luz solar no reservatório devido ao possível crescimento de microrganismos;
- Manter tampa de inspeção fechada;

- Manter grade na saída do extravasor para evitar entrada de animais;
- Limpezas do reservatório uma vez ao ano;
- Verificações frequentes da qualidade da água armazenada e a necessidade de tratamentos.

Encontra-se em tramitação na Câmara dos Deputados, de autoria do Deputado Federal Coronel Armando, o projeto de lei nº 2404/2021, que trata da captação e utilização de águas de chuva em novas edificações. Está prevista a necessidade de captação no caso de construções com área total igual ou superior a 250 m². Os usos previstos são aqueles que necessitem de um tratamento mais simplificado e os dimensionamentos devem atender à Norma ABNT já citada neste item (BRASIL, 2021).

3.3.1.2 Telhados verdes

Também conhecidos como coberturas verdes, telhados vivos, cobertura viva, cobertura vegetal, dentre outros, são estruturas implantadas nos telhados como uma forma alternativa para drenagem pluvial no meio urbano. É composto por vegetação plantada em substrato e inserida sobre uma base impermeável, pode conter, também, um sistema de drenagem e de irrigação e uma barreira anti-raízes (FRANÇA, 2017).

Os telhados verdes e outras técnicas de manejo de águas pluviais são conhecidos, no Brasil, como Técnicas Compensatórias de Drenagem Urbana e visam reter ou infiltrar as águas precipitadas, reproduzindo características originais de infiltração da área antes do processo de urbanização (NIQUINI *et al.*, 2019).

Sua aplicação possui diversas vantagens como citado por França (2017):

- Contribuir para atração de aves e insetos no meio urbano;
- Alteração do microclima;
- Redução de ruído externo;
- Produção de oxigênio (O₂) e captação dióxido de carbono (CO₂);
- Ganho estético;
- Isolamento térmico;
- Regulação de temperatura;

- Melhoria da qualidade de vida e da qualidade do ar;
- Redução da velocidade de escoamento de água pluvial;
- Melhoria da qualidade da água pluvial;
- Reforço do ecossistema;
- Redução de consumo de energia elétrica com ar condicionado e outros;
- Aumento de vida útil do telhado por diminuir desgaste da estrutura;
- Possibilidade de geração de emprego e renda pelo cultivo de espécies que podem ser comercializadas;
- Pode ser implantado em estruturas já construídas.

Alguns aspectos negativos são relacionados ao aumento da carga estrutural no edifício, necessidade de manutenção regular, o custo pode ser maior do que telhados convencionais e variam de acordo com a metodologia aplicada, mas estes custos podem ser compensados devido às economias proporcionadas (FRANÇA, 2017).

Conforme registros históricos, os Jardins Suspensos da Babilônia, uma das sete maravilhas da antiguidade, são considerados coberturas verdes. Historiadores consideram que teriam sido construídos pelo rei Nabucodonosor II no final do século VI a.C. Atualmente, a Alemanha possui grande desenvolvimento da aplicação desta tecnologia (FRANÇA, 2017).

No Brasil, os telhados verdes são uma técnica nova e pouco implantada, de forma que se encontra em aperfeiçoamento no país. São Paulo, Rio Grande do Sul, Paraíba são estados que possuem cidades que vêm promovendo leis de incentivo à adoção desta tecnologia (FRANÇA, 2017; NIQUINI *et al.*, 2019). Recife e João Pessoa também são cidades com projetos que preveem a implantação de telhados verdes no caso de edificações habitacionais com mais de quatro andares e não habitacionais com 400 metros quadrados de área coberta. O primeiro telhado verde no país foi implantado em 1988 em Pedra Azul, localizado no município de Domingo Martins, região serrana do Espírito Santo (SILVA *et al.*, 2018).

Em Belo Horizonte, o poder público, de forma a promover técnicas compensatórias de drenagem urbana, por meio da aprovação da Lei Municipal nº 7.166/1996, que dispõe sobre normas e condições de parcelamento, uso e ocupação do solo, previu a

implantação de reservatórios municipais em alguns casos. Além disso, o Projeto de Lei nº 963/2014 propõe a instalação de telhados verdes em novos empreendimentos com mais de três pavimento e o projeto nº 179/2017 propõe desconto progressivo no Imposto sobre a Propriedade Predial e Territorial Urbana (IPTU) de imóveis com medidas de redução de impacto ambiental e eficiência energética (NIQUINI *et al.*, 2019).

Os telhados verdes estão associados a três tipologias de execução, podendo ser extensivos, semi-intensivos ou intensivos. O primeiro destes possui elevada resistência a mudanças de chuva e clima, sem muita necessidade de manutenção. O substrato varia de 8 a 12 cm, de forma que pode proporcionar um peso médio de 150 kg/m² quando saturado, o que não provoca grande alteração na carga estrutural da edificação. Já os intensivos precisam de cuidados especiais relacionados à irrigação e aos nutrientes, possuindo custos mais elevados, maiores espessuras (>250 cm), porém maior retenção do volume precipitado (SILVA *et al.*, 2018; FERNANDES, 2019; NIQUINI *et al.*, 2019). A cobertura semi-intensiva apresenta características intermediárias entre as demais categorias com espessura entre 5 e 100 cm e custo mediano (NIQUINI *et al.*, 2019).

Para implantação de telhados verdes, as estruturas devem ser colocadas segundo a sequência mostrada no Quadro 2:

Quadro 2 – Camadas do telhado verde

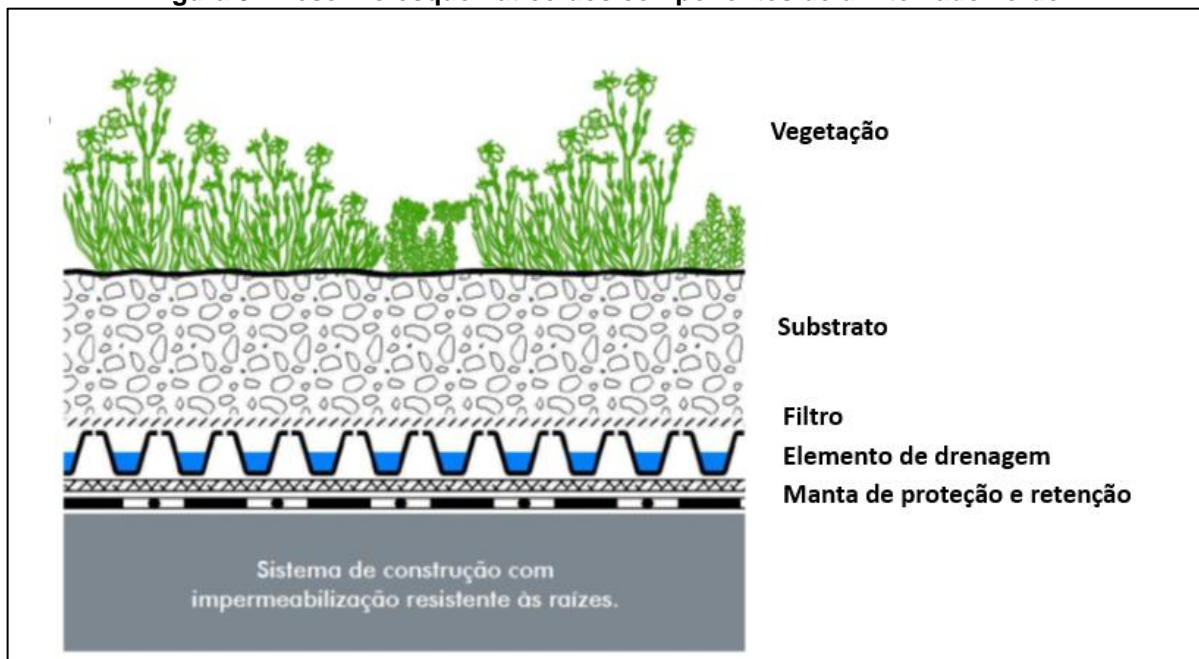
Impermeabilização	Busca manter a principal função que um telhado possui, que é impedir a penetração de água pluvial. Normalmente, é empregada manta sintética para proteger laje contra infiltrações.
Drenagem	Reduz o tempo de infiltração da água no solo e evitar inundação. Podem ser usados cascalho, areia, brita, argila expandida, geomanta ou estruturas pré-fabricas de polipropileno. Nesta camada, pode estar previsto sistema de filtro para evitar entupimento e proporcionando transporte de água até as raízes da vegetação. A camada de drenagem também pode ser desnecessária em telhados com declividade maior que 5% pois esta condição já favorece a drenagem.
Anti-raiz	Esta é implantada para evitar que a camada impermeabilizante seja perfurada pelas raízes das plantas implantadas. Caso a manta de impermeabilização apresente resistência às raízes, esta camada não é necessária.
Substrato	Camada suporte para implantação da vegetação e onde raízes se desenvolvem. Proporcionam nutrição e hidratação para plantas. Sua espessura vai depender do tipo de telhado verde a ser aplicado (intensivo, semi-intensivo ou extensivo), variando de 8 a 12 cm

Vegetação	As espécies a serem aplicadas vão depender de algumas condições como o sistema a ser empregado (intensivo, semi-intensivo ou extensivo), espessura do substrato, capacidade de armazenamento de água, exposição ao vento, orientação em relação ao sol, necessidade de irrigação.
------------------	---

Fonte: Adaptado de França (2017)

A Figura 3 apresenta um desenho esquemático de um telhado verde, indicando alguns dos componentes anteriormente citados. A estrutura representada na imagem conta com impermeabilização resistente à raízes, não contendo, assim anti-raiz.

Figura 3 - Desenho esquemático dos componentes de um telhado verde



Fonte: Proposta de orçamento enviada pela empresa Fornecedora 2 de Telhados Verdes consultada (2023)

É possível fazer uma associação com sistema de captação de água de chuva e energia solar, sendo denominado de Eco telhado. O valor de investimento é mais significativo, mas com resultados mais eficazes. A possibilidade desta aplicação dependerá de fatores como inclinação do telhado e clima da região (SILVA *et al.*, 2018). Além disso, os telhados verdes podem servir como local para a implementação de uma horta urbana.

3.3.2 Alternativas energéticas

Com o contínuo desenvolvimento no setor industrial e aumento da utilização de equipamentos elétricos usados em atividades humanas, vivencia-se crescente

demanda por energia elétrica nas últimas décadas. Desse modo, a energia *per capita* consumida numa sociedade passou a representar o estado relativo do seu progresso (SILVA, 2019).

Além disso, devido à crescente preocupação com a temática ambiental, é verificada modificação ao uso mais eficiente de energia e a substituição de fontes fósseis para fontes renováveis, como solar, eólica, biomassa, dentre outras.

Atualmente, o sistema de produção de eletricidade no Brasil envolve o uso de usinas hidroelétricas, termoelétricas e eólica, predominando aquela proveniente das águas (SILVA, 2019). Porém, a diversificação de fontes na matriz energética brasileira é de interesse do país, visto que o potencial hidráulico inexplorado se encontra em zonas remotas e estes projetos possuem elevados custos de implementação e transmissão, além dos impactos ambientais e sociais de grandes proporções (GHEINER *et al.*, 2020).

Segundo dados de abril de 2023 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), no primeiro trimestre deste ano, foi verificada uma expansão de 2.746,5 megawatts (MW) da capacidade instalada de geração de energia elétrica. Este fato tem relação com a implementação de 82 novas usinas até 31 de março. Sendo 44 eólicas (1.485 MW), 23 solares fotovoltaicas (920,2 MW), 10 termelétricas (278,1 MW), quatro pequenas centrais hidrelétricas (59,8 MW) e uma central geradora hidrelétrica de capacidade reduzida (3,4 MW). É possível verificar que as plantas solares e eólicas representam 87,6% da capacidade instalada neste ano. Conforme outros dados da ANEEL, há, ainda, mais 19.433 MW de energia proveniente da geração distribuída, correspondendo a uma matriz elétrica 85% renovável (ANEEL, 2023).

As fontes de energia alternativas podem ser conectadas ou não à rede elétrica. Desta forma, existem as modalidades *On-Grid*, que são conectadas diretamente à rede e as *Off-grid* que não o são e que necessitam de aparelhos para armazenamento da energia gerada (OLIVEIRA *et al.*, 2019).

A Geração Distribuída (GD) de energia foi regularizada pela Resolução Normativa nº 482, que foi editada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em 2012.

Nela estavam contidas informações sobre geração de créditos pela energia gerada pelo consumidor, a possibilidade do uso desses nos 36 meses subsequentes, necessidade de homologar painéis e inversores de potência pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO).

A promulgação da Resolução Normativa nº 482/2012 pela ANEEL permitiu que as fontes renováveis pudessem ser integradas à rede de distribuição. Ela também possibilitou a implantação de um sistema de compensação de energia elétrica de forma que sejam acumulados créditos referentes à energia injetada na rede de distribuição. A partir de então e, associados aos incentivos fiscais, houve grande aumento na capacidade instalada de várias fontes renováveis (SILVA, 2019).

Esta legislação foi atualizada no ano de 2015 (Resolução Normativa nº 687/2015), aumentando o público-alvo e melhorando as informações da fatura (GHEINER *et al.*, 2020).

Além disso, neste período, o governo federal isentou Programa de Integração Social (PIS) e Contribuição para Financiamento da Seguridade Social (COFINS) da energia injetada na rede, estimulando mais ainda o uso destas tecnologias e alguns estados fizeram o mesmo com o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), imposto que mais incide sobre a energia elétrica em alguns estados (GHEINER *et al.*, 2020).

Em 30 de dezembro de 2022, foi publicado o decreto nº 11.323 e, posteriormente, devido ajustes da reorganização ministerial, em 29 de março de 2023, ocorreu a republicação deste mesmo decreto. O qual prorroga incentivos fiscais do Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de Semicondutores (PADIS) até o final de 2026. Foram incluídos insumos, peças e componentes ligados à fabricação de células e módulos solares fotovoltaicos. Assim, estes equipamentos passaram a ter alíquota zero de impostos de importação, Imposto Sobre Produtos Industrializados (IPI) e PIS/COFINS, o que resulta em redução nos custos de produção e poderá ocasionar em geração de empregos.

Cabe citar, ainda, a aprovação da Lei nº 14.300 no início do ano de 2022, conhecida como Marco Legal da Microgeração e Minigeração Distribuída. Com ela, ocorreram novas modificações na Geração Distribuída, como, por exemplo, a determinação de que parte dos custos da GD sejam repassados para a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE).

Assim como as conexões já existentes ou que protocolaram sua solicitação até 7 de janeiro de 2023 têm direito, até o ano de 2045, a ter compensação de 100 % das componentes tarifárias do consumo compensado pela geração de energia excedente injetado na rede distribuidora. Já, para as novas conexões, os benefícios serão custeados por meio da CDE até o ano de 2030.

Mais recentemente, foi sancionada a Resolução Normativa ANEEL nº 1.059 de 7 de fevereiro de 2023, que, além de ter revogado, dentre outras, a RN 482/2012 e a RN 687/2015, em seu contexto geral, apresenta novas regras para conexão e faturamento de sistemas de microgeração e minigeração e para o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE). Foram criadas as quota CDE-GD, mudanças na estrutura tarifária e determinado o envio de novas informações pelas distribuidoras.

Conforme Emiliano *et al.* (2023), esta legislação apresentou esclarecimentos para o Marco Legal da Geração Distribuída, por considerar as opiniões técnicas da ANEEL e agentes do setor.

A geração distribuída apresenta algumas desvantagens como tornar a operação da rede mais complexa, dificultar a cobrança pelo uso do sistema elétrico, eventuais incidências de tributos e necessidade da alteração dos procedimentos das distribuidoras para operar, controlar e proteger suas redes (SILVA, 2019).

Tecnologia solar fotovoltaica

O efeito fotovoltaico já havia sido estudado em uma solução de selênio desde 1839 pelo físico francês Edmund Becquerel. Este pesquisador observou que, ao serem iluminados pelo sol, os eletrodos de uma solução condutora sofriam tensão. Em 1870 este efeito foi estudado em sólidos, sendo construída primeira célula com selênio no

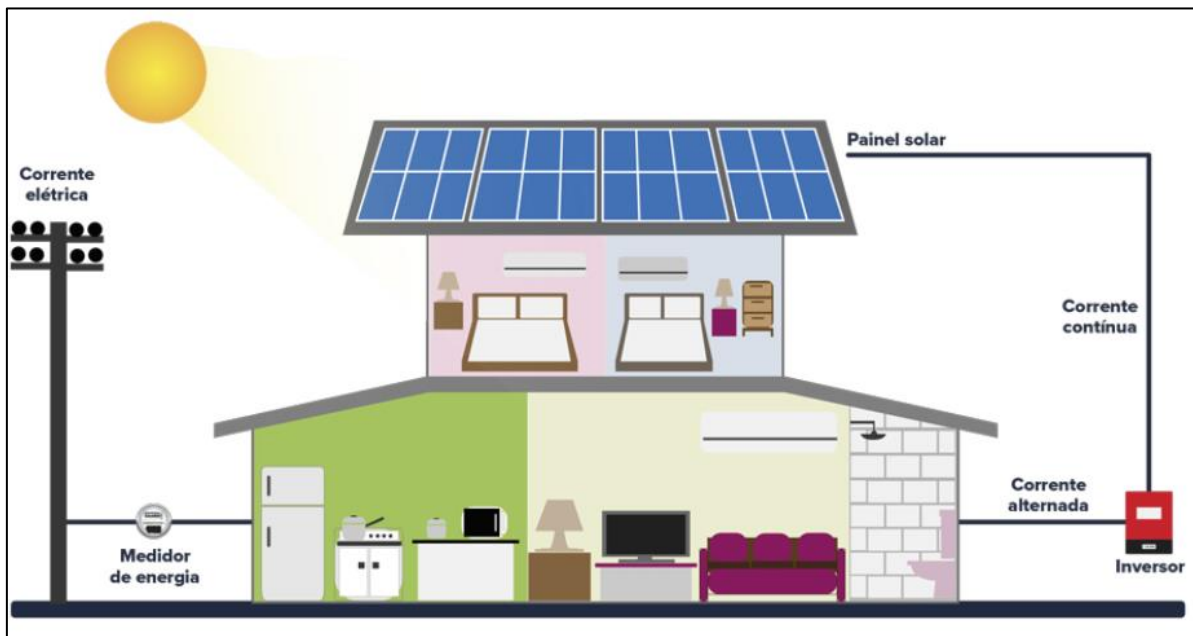
ano de 1880 (OLIVEIRA, C. *et al.*, 2019). Atualmente, o elemento químico mais empregado para sua fabricação é o silício.

As células fotovoltaicas são criações relativamente recentes, tendo sido primeiro estudadas para projetos de satélites (OLIVEIRA C. *et al.*, 2019). Apenas após a crise energética de 1973/74, passou a ser considerada como forma de energia.

O princípio do funcionamento de uma célula fotovoltaica envolve o uso de semicondutores com arranjo de módulos que transformam a luz solar em energia elétrica quando o elétron salta para a banda de condução ao receber energia suficiente pelo sol. Toda célula fotovoltaica tem, pelo menos, duas camadas com materiais semicondutores, uma positiva e outra negativamente carregada, o campo elétrico criado entre estas propicia o início do fluxo de energia, gerando uma corrente contínua (COELHO *et al.*, 2018).

A Figura 4 ilustra os principais componentes de um Sistema Solar Fotovoltaico.

Figura 4 - Principais componentes de um Sistema Solar Fotovoltaico



Fonte: Proposta de orçamento enviada pela empresa Fornecedora 2 de Energia Solar Fotovoltaica consultada (2023)

A instalação conectada à rede elétrica (*on-grid*), é composta por painéis solares, sistema de fixação ao envoltório da construção, sistema conversor CC-CA (inversor), diodos de bypass e diodos de bloqueio, fusíveis e disjuntores, cabos elétricos,

terminais, proteções contra sobretensões e descargas atmosféricas e caixas de conexão (RÜTHER, 2004). Em sistemas *off-grid*, é essencial a presença de baterias para armazenarem a energia gerada quando estes não funcionarem em associação com outro sistema de geração de energia como um aerogerador, conhecidos como sistemas híbridos (RIBEIRO *et al.*, 2022). O Quadro 3 apresenta descrição dos componentes que podem haver em um Sistema Solar Fotovoltaico

Quadro 3 – Componentes de um Sistema Solar Fotovoltaico e suas funções

Componente		Função
Módulo solar		São compostos de células fotovoltaicas, as quais utilizam o efeito fotovoltaico para converter as ondas eletromagnéticas em eletricidade. Seu desempenho é fortemente influenciado pela temperatura e irradiância solar
Sistema de fixação		Estrutura onde serão montados os módulos fotovoltaicos e que devem suportar todas as cargas mecânicas e ventos, expansões e contrações térmicas e que possuam vida útil semelhante ao Sistema Solar Fotovoltaico
Sistema conversor CC-CA (inversor)		Serve para converter a corrente contínua dos módulos em corrente alternada. Sua operação necessita da rede elétrica
Dispositivos de proteção	Diodos de bloqueio	Evitam fluxo de corrente entre bateria e módulo ou entre módulos em paralelo. Podem ser dispensados seu uso já que fusíveis podem realizar esta função
	Diodos de desvio ou <i>by-pass</i>	Usados em paralelo com os módulos para evitar que um mau funcionamento (sombreamento ou defeito) afetem todo o sistema
	Dispositivos de Proteção Contra Surtos (DPS)	Limitam sobretensões e desviam altas correntes de surtos elétricos que podem danificar ou incendiar o equipamento
	Chaves	Desconectar geração fotovoltaica para manutenções na rede
	Condutores	Serve para condução de corrente elétrica. Para corrente contínua de sistemas fotovoltaicos, devem ser de cobre estanhado, não propagantes de chama, não halogenado, possuir dupla isolamento, ser resistente à água e ter proteção contra radiação ultravioleta se expostos ao tempo
	Fusíveis e disjuntores	Proteger os cabos, equipamentos e demais componentes caso haja sobrecarga, falhas ou curto-circuito
	<i>String Box</i> / Caixa de junção	Caixa de conexões que liga os dispositivos de proteção da parte de corrente contínua com os cabos elétricos dos painéis

Fonte: Adaptado de RÜTHER (2004) e BARBOSA (2021).

O grande parte do território nacional possui elevado potencial para implementação de Sistemas Solares Fotovoltaicos, tanto em áreas urbanas como rurais, e que variam de 1.500 a 2.350 kWh/m²/ano. Sendo os estados com maiores índices de radiação solar a Bahia, Piauí, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará, Tocantins, Goiás, Minas Gerais e São Paulo (RIBEIRO *et al.*, 2022; SEBRAE, 2018).

No Brasil, o crescimento de sua aplicação se deu com a oferta de linhas de financiamento por bancos públicos e privados, com taxas de juros e prazos atrativos. O consumidor pode recuperar seu investimento ao longo dos anos por meio da economia gerada na conta mensal de eletricidade da concessionária (OLIVEIRA, C. *et al.*, 2019).

Trata-se da fonte energética que mais se desenvolve em potência e adquire maiores investimentos no mundo. Propiciando diminuição nos preços e maior competitividade. Este fato vem, também, ocasionando na maior aplicação desta tecnologia no Brasil. Entretanto, apesar de se tratar de uma tecnologia madura, com mais de 50 anos, no Brasil, em relação à potência instalada, acredita-se que haverá baixos índices de potencia instalada por aproximadamente 5 a 7 anos (SEBRAE, 2018).

SEBRAE (2018) afirma que alguns fatores que recaem sobre o desenvolvimento deste mercado no país. Como a baixa demanda doméstica em curto prazo, que não se torna vantajosa em relação aos investimentos necessários para a produção de módulos solares nacionais, necessitando, assim que fosse competitivo para exportação. Porém, a produção de módulos vem passando por intervenção governamental com incentivos fiscais e ambientais, isto vem ocasionando na diminuição do custo e que pode propiciar concretização do sistema.

Este mesmo autor aponta a ausência de 10 atividades de valor da cadeia de bens deste segmento e que não estão presentes no país, isso torna menos competitivo em relação ao mercado internacional. São eles:

- Fabricação de silício grau solar;
- Gases de processamento;
- Vidro grau solar;
- Lingote e Lâmina de silício;
- Célula fotovoltaica de silício cristalino;
- Substrato de filme fino;
- Composto de filme fino;
- Backsheet;
- Caixa de junção;

- Filme encapsulante/EVA,

Entretanto, possui algumas vantagens competitivas para este setor, como ter uma das maiores reservas mundiais de quartzo de qualidade, o qual é o mineral de onde o silício é extraído; possui indústrias para beneficiamento do silício; possuir, em escala-piloto, tecnologia para fabricação de células e módulos fotovoltaicos ; ser fabricante de alumínio e de vidro (SEBRAE, 2022).

Em relação à tecnologia de materiais aplicada nos módulos fotovoltaicos, existem diferentes gerações, sendo a primeira referente ao uso de silício cristalino. A segunda refere-se ao uso de filmes finos inorgânicos de alguns elementos e a terceira inclui tecnologias orgânicas, pontos quânticos (PQs), células sensibilizadas por corantes, dentre outros (COELHO *et al.*, 2018)

Energia proveniente do sol é considerada como uma forma limpa de produzir energia, por não emitir poluentes gasosos ou particulados e ruído acústico na atmosfera, . Também não necessitam de combustíveis. Porém há geração de alguns impactos ambientais dentre os quais pode-se citar: pode provocar aumento na mortalidade de algumas espécies da fauna, principalmente de aves que são atraídas pela claridade do local e morrem devido ao calor gerado próximo ao ambiente; impactos visuais, principalmente em sistemas de grande porte. Ainda não se sabe ao certo sobre a emissão proveniente de geradores solares relativa ao material de encapsulação dos módulos e espelhos solares. Os impactos da fabricação dos equipamentos podem ser controlados. Os impactos indiretos são referentes à fabricação dos sistemas e resíduos das manutenções, além do uso de materiais altamente tóxicos para a efetivação da dopagem de silício, que emite gases com toxicidade considerável se não realizado de forma controlada (RIBEIRO *et al.*, 2022).

Uma preocupação com os módulos fotovoltaicos é o seu descarte após o período útil de 25 a 30 anos. Trata-se ainda de uma questão devido à ausência de tecnologias adequadas para recuperação e o fato da possibilidade de liberação de substâncias perigosas que oferecem risco à saúde humana. As tecnologias mais aplicadas são o tratamento químico e físico daqueles que empregam silício, mas também não estão esclarecidos os impactos durante o processo de reciclagem, além de poucas

informações sobre tais estudos. São classificados como resíduos de equipamentos eletrônicos ao serem descartados, segundo norma NBR 10004, estes podem ser classificados como resíduos sólidos perigosos classe I (COELHO et al., 2018).

As desvantagens das conexões em redes referem-se à possibilidade da indução de problemas nas mesmas pela imprevisibilidade horária e anual da geração de energia solar fotovoltaica. Com excessos de produção elétrica nos dias de sol de verão e deficiências devido ao consumo elevado. Quanto aos aspectos negativos da utilização desta tecnologia é o elevado custo, principalmente dos módulos solares; baixo rendimento de geração, ser dependente do clima, assim como os impactos ambientais já citados (RIBEIRO et al., 2022).

As vantagens dos sistemas solares fotovoltaicos são a baixa necessidade de manutenção, o aumento constante da potência e a diminuição que vem ocorrendo nos preços de mercado, tornando mais acessível a sua utilização; a economia de energia elétrica é bem superior aos custos iniciais para implantação do sistema; é um sistema versátil, que pode ser aplicado em vários locais e atender diversos tipos de consumidores; podem ser implantados em telhados, coberturas e superfícies existentes. No aspecto socioeconômico, propicia geração de empregos locais, acréscimo da arrecadação e ampliação de investimentos (RIBEIRO et al., 2022).

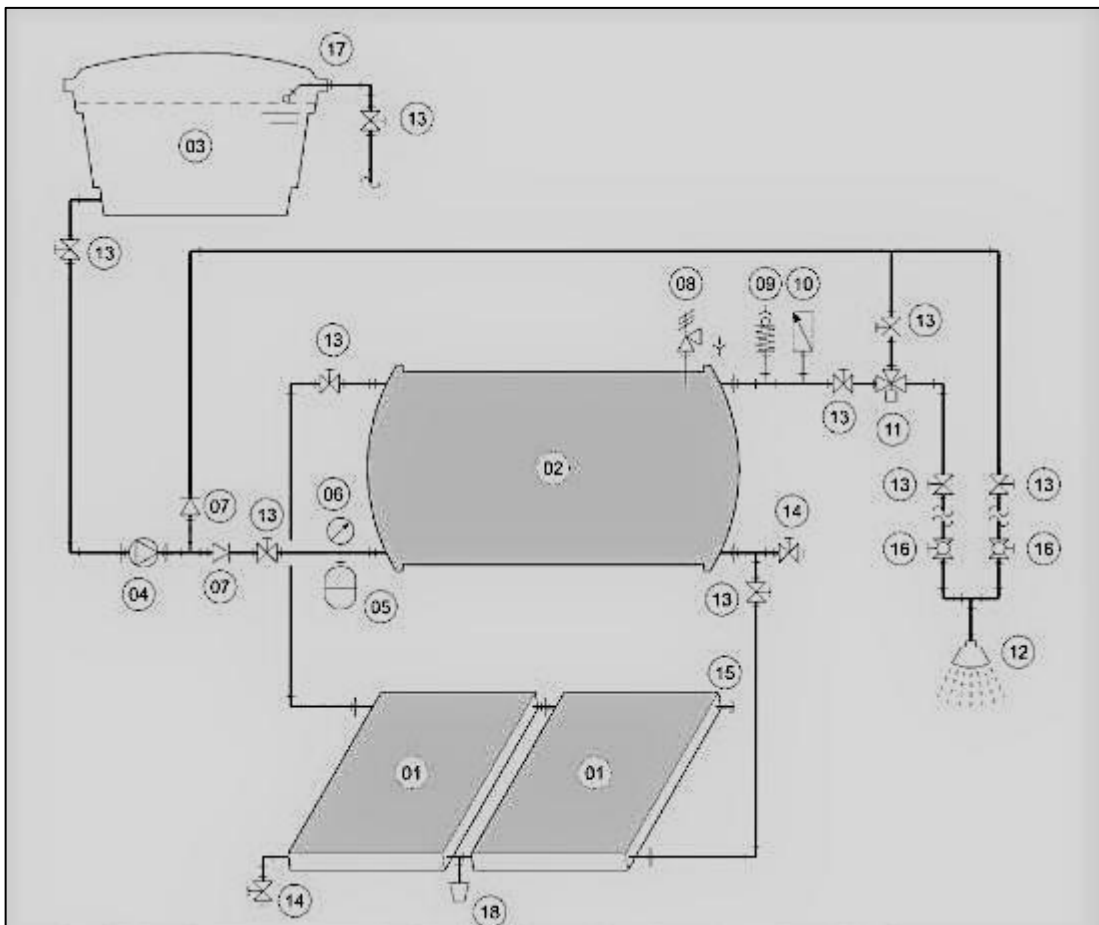
Tecnologia solar térmica

Sistemas de Aquecimento Solar (SAS) possuem sua concepção atrelada à Norma ABNT NBR 15569:2020, sendo por esta definida como “sistema composto por coletor solar, reservatório termossolar, com ou sem aquecimento auxiliar e/ou acessórios e suas interligações hidráulicas, que funciona por circulação natural ou forçada”. Nestes sistemas, a radiação solar é convertida em calor e a água aquecida pode ser empregada no aquecimento de piscinas, chuveiros, aquecimento de ambientes ou processos industriais (MAIMONI, 2020; SIMÕES, 2018).

Um SAS conta, basicamente, com três elementos principais, quais sejam o coletor solar, reservatório termossolar e sistema de aquecimento auxiliar, sendo a transferência de energia entre cada um destes elementos condicionada por um

circuito primário (que transfere energia dos coletores para o armazenamento) e secundário (que transfere do abastecimento até a distribuição de água na rede). O aquecimento auxiliar não é necessário em todos os sistemas, sendo aplicável para complementar a demanda energética para o perfil de consumo previsto (ABNT NBR 15569:2020). A Figura 5 ilustra os principais componentes e o Quadro 4 posterior apresenta breve descrição dos mesmos.

Figura 5 - Principais componentes de um Sistema de Aquecimento Solar



Fonte: ABNT NBR 15569:2020

Legenda:

- | | |
|---|--|
| 01 – Coletor solar; | 11 - Válvula misturadora (se aplicável); |
| 02 – Reservatório térmico; | 12 – Ponto de consumo de água; |
| 03 – Caixa de água fria; | 13 – Registro gaveta ou válvula-esfera; |
| 04 – Motobomba; | 14 – Dreno; |
| 05 – Vaso de expansão exclusivo; | 15 – Tampão ou plugue; |
| 06 – Manômetro; | 16 – Registro de pressão; |
| 07 – Válvula de retenção; | 17 – Alimentação de água com válvula boia; |
| 08 – Válvula limitadora de pressão e temperatura; | 18 – Válvula de anticongelamento (quando aplicável). |
| 09 – Válvula quebra vácuo; | |
| 10 – Válvula eliminadora de ar; | |

Quadro 4 – Componentes de um Sistema de Aquecimento Solar e suas funções

Componente	Função
Coletor solar	Converter energia solar em energia térmica
Controlador diferencial de temperatura	Controlar o funcionamento da motobomba hidráulica do sistema de aquecimento solar por circulação forçada e eventualmente possui funções de segurança
Dispositivo de expansão	Proteger o sistema contra variações de pressão e expansão volumétrica durante o funcionamento do SAS
Dreno	Possibilitar o escoamento ou drenagem da água do SAS
Isolamento térmico	Minimizar perdas térmicas dos componentes e acessórios do SAS
Motobomba	Promover a circulação forçada da água pelo SAS
Reservatório termossolar	Acumular energia térmica na forma de água aquecida
Respiro	Equalizar pressões positivas e negativas do SAS e permitir a saída de ar e vapor
Sensor de temperatura	Medir a temperatura da água em pontos específicos do SAS
Tubos e conexões	Interconectar os componentes e transportar a água aquecida
Válvula de segurança de pressão	Aliviar automaticamente a pressão do SAS caso a pressão máxima seja atingida
Válvula de retenção	Não permitir o movimento reverso da água
Válvula de segurança de temperatura e pressão	Dispositivo de segurança acionado quando a pressão ou a temperatura ultrapassam os valores ajustados
Válvula de segurança de temperatura	Dispositivo de segurança, atuado pela temperatura e projetado para abrir automaticamente, quando esta atingir valor pré-ajustado
Válvula eliminadora de ar	Permitir a saída de ar do SAS
Válvula quebra-vácuo	Aliviar pressões negativas formadas durante o funcionamento do SAS permitindo a entrada de ar

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15569:2020

Devido à ocorrência de variações de temperatura neste sistema, os materiais e componentes selecionados para compor um SAS devem ser considerados quanto à sua dilatação térmica que é variável de acordo com cada material, devendo ser selecionados aqueles que possuem capacidade de acomodar as dilatações previstas no projeto (ABNT NBR 15569:2020).

Existem diferentes arranjos para este sistema, que podem ser classificados de acordo com variações em alguns de seus atributos, conforme indicado no Quadro 5.

Quadro 5 – Diferentes classificações que podem ser dadas a um 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: Adaptado de ABNT NBR 15569:2020

Em relação ao arranjo, o SAS solar com aquecimento auxiliar se refere à forma de utilização em que são empregados ambas fontes para aquecimento da água, de forma que, mesmo na indisponibilidade de energia solar, o sistema mantenha o seu funcionamento, neste caso, empregando apenas o aquecimento auxiliar. Em muitos casos, não há esta fonte alternativa, sendo usada apenas a proveniente do sol e, em outras situações, a energia solar é empregada para um pré-aquecimento do sistema, tendo alguns usos industriais. As situações em que pode haver a necessidade da utilização deste aquecimento auxiliar são referentes à períodos de chuva ou em casos de consumo elevado e são empregados sistemas elétricos ou a gás. Alguns domicílios optam por utilizar chuveiros elétricos no caso de não haver aquecimento propiciado pelo sol (ABNT NBR 15569:2020; LENZ, 2016).

Outra diferenciação que pode haver no SAS é referente ao regime de circulação. No sistema natural, também chamado de termossifão, apenas a densidade do fluido é empregada para a circulação entre o coletor e o dispositivo de armazenamento. Entretanto, em alguns casos, há a necessidade da incorporação de equipamentos, como motobomba, para proporcionar esta movimentação, sendo este sistema conhecido como de circulação forçada, nestes casos, por vezes, há necessidade de recorrer a um sistema de apoio para o aquecimento da água por meio de uma resistência ou permutador. Desta forma, apesar de possuírem maior eficiência, os sistemas forçados são mais complexos e de elevado custo (ABNT NBR 15569:2020; SIMÕES, 2018).

Conforme mencionado, a diferença de densidade entre a água fria e quente é o princípio de funcionamento do sistema termossifão. De forma que a última, de menor densidade, permaneça na parte superior do reservatório enquanto a de menor temperatura se encontra no fundo. Assim, o coletor deve ser colocado abaixo do reservatório de forma que a água fria saia pela parte inferior deste e entre na parte inferior do coletor solar. Após ser aquecida, começa a subir neste até atingir o topo, quando entra novamente no reservatório de acumulação, mas, desta vez, pela parte de cima. A água consumida sai pela parte superior do reservatório. No Brasil, devido

ao clima, o sistema por termossifão é o mais adotado pois o aquecimento consegue ocorrer efetivamente ao longo do ano (MAGRO, 2016; MATIAS, 2019).

Outro aspecto que torna necessária a implantação do reservatório acima dos coletores é o fato desta questão evitar a recirculação noturna, quando o fluido poderia escoar em sentido contrário ao desejado. Estando acima do coletor, o reservatório sempre possuirá uma coluna de água quente em sua tubulação de saída, que balanceará a diferença de pressão, anulando o efeito da recirculação (MAGRO, 2016).

A incidência de radiação solar, que é fator fundamental para as tecnologias solar térmica e fotovoltaica, depende, dentre outras condições da latitude. Isso significa que a superfície terrestre não é atingida com a mesma intensidade em toda a sua extensão. A zona que recebe maior incidência encontra-se compreendida entre os 23,43731°N e os 23,43721°S, ou seja, entre os trópicos de Câncer e Capricórnio, como é o caso do Brasil. Dentre os países com maior potencial para o uso desta tecnologia, a China possui maior potência instalada, sendo também o maior mercado do mundo em aquecedores solares (LENZ, 2016; MATIAS, 2019).

No Brasil, pode-se supor que o elevado custo para aquisição e implantação dos equipamentos em relação aos chuveiros tradicionais e a falta de conhecimento sobre a tecnologia, ocasionam no baixo aproveitamento da tecnologia solar térmica. Entretanto possui apenas um maior custo inicial, passando a ter vantagens econômicas depois de certo tempo, devido ao fato de, como já mencionado anteriormente, o chuveiro elétrico representar grande parte do consumo doméstico de energia elétrica (MAGRO, 2016).

O sistema solar térmico pode ser associado ao sistema solar fotovoltaico, apresentando vantagens do ponto de vista econômico por representar significativa redução do gasto com energia elétrica, devido a não utilização do chuveiro elétrico, o qual é responsável por grande parte do consumo de energia elétrica.

Como desvantagem desta tecnologia, pode-se citar a instabilidade da sua utilização devido à presença de nebulosidade, incidência de chuvas e o período noturno (NEGRI *et al.*, 2019).

3.3.3 Gestão doméstica de resíduos sólidos urbanos

Segundo a Lei 12305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) são definidos como aqueles originados de atividades domésticas em residências urbanas e da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza. A sua composição é variada, porém a maior parte é referente à matéria orgânica e materiais recicláveis.

A referida legislação apresenta diretrizes para melhor gestão dos resíduos sólidos urbanos, definindo como meta a redução da quantidade gerada e a disposição final ambientalmente adequada em aterros sanitários. Conforme Freitas *et al.* (2017), o aterramento de resíduos não representa uma solução ao problema, já que esta forma de disposição possui capacidade limitada e altos custos de manutenção envolvidos.

Os aterros deveriam receber apenas aquele resíduo que não seja passível de reuso, reciclagem ou reutilização energética. Entretanto não é o que se verifica. Esta forma de deposição final possui como desvantagem não ser um tratamento e sim uma forma de armazenamento no solo. Também demanda extensas áreas e está propício à contaminação do solo e de águas subterrâneas (AMARAL *et al.*, 2012). Sua utilização vem sendo cada vez mais questionada ao redor do mundo, devido à dificuldade em encontrar áreas adequadas, que apresentem bom custo benefício, assim como não apresentem distâncias que onerem o transporte do material posteriormente.

Desde a década de 1920, com o surgimento do crédito financeiro, o consumo de bens passou por elevado crescimento, associado ao desejo de posse gerado pela publicidade e propaganda. Deste estilo de vida, houve cada vez mais o crescimento da geração de resíduos pelas famílias nas várias regiões do mundo, sendo composto por embalagens, garrafas, invólucros, dentre outros, materiais que não são mais usados e que são, em grande parte, aterrados (CORTELLETTI, 2019).

Existem diversas formas de tratamento e disposição final de resíduos sólidos de forma a empregar suas potencialidades. Para mudanças, Cortelletti (2019) acredita que seja importante a promoção de infraestruturas de coleta e reciclagem, educação e engajamento, inovação. Sendo importante a adoção de medidas até mesmo em pequena escala, para que os resultados sejam cada vez mais significativos.

Segundo dados de 2022 da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), a geração de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil é referente a 81.811.506 t/ano. Deste montante, apenas 61,0% é disposto em aterros sanitários, forma de disposição determinada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.508/2010). O restante é despejado em locais inadequados, como aterros controlados ou lixões, que são estruturas que não possuem equipamento e medidas de controle para proteção do meio ambiente, ocasionando em maiores impactos ambientais.

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), 96% da população urbana de Belo Horizonte possui coleta domiciliar direta de resíduos sólidos. Conforme Soares *et al.* (2019), a maior parte destes (98,92%) é destinada à Central de Tratamento de Resíduos Macaúbas S/A (CTR Macaúbas), que fica em Sabará, o restante, é destinado a associações e cooperativas de catadores.

Outra ferramenta implementada pela PNRS é o sistema de Logística Reversa relacionada a diversos setores. Conforme Cortelletti (2019), dados sobre o avanço desta ferramenta no país indicam que não houve evolução nas quantidades e índice de recuperação de materiais, havendo estagnação ou mesmo queda em comparação a anos anteriores.

Hierarquia da gestão de resíduos

Existe uma hierarquia de gestão de resíduos amplamente conhecida como uma sequência de procedimentos, a saber: redução de consumo, reutilização, reciclagem, recuperação energética e disposição final adequada. Conforme Art. 9º da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei Nº 12.305 de 2 de agosto de 2010, na gestão e no gerenciamento de resíduos sólidos, deve-se buscar o atendimento a esta ordem de prioridade.

Para a reutilização e reciclagem é necessário haver uma segregação prévia dos resíduos. A reciclagem é o processo de transformação de materiais triados, reaproveitando e evitando o uso de recursos renováveis e não-renováveis em novos

produtos. Para que isso seja possível, os resíduos devem ser separados e destinados de maneira adequada, por meio da coleta seletiva.

Conforme apresenta Cortelletti (2019), somente a reciclagem não é suficiente para a solução do gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos no planeta, porém, trata-se de uma ação essencial para modificar esta situação. Este processo possibilita contribuir para economia de água e de energia, redução de custos de matérias-primas industriais e diminuição do volume de resíduos gerados e aterrados.

Para a realização da reciclagem de materiais, é essencial a sua segregação ao serem descartados, sendo o cidadão o principal agente nesta ação. Devido à elevada carga de nutrientes que os resíduos orgânicos possuem, ao entrar em contato com os materiais recicláveis secos, podem ocasionar contaminações e dificuldade no processo de triagem e tratamento dos mesmos, desta forma, a segregação dos resíduos na fonte pode proporcionar vantagens econômicas (SILVA, P. *et al.*, 2019). O Quadro 6 mostra os principais tipos de resíduos:

Quadro 6 – Tipos de resíduos sólidos urbanos

Matéria orgânica	Restos de comida
Papel e papelão	Jornais, revistas, caixas e embalagens
Plásticos	Garrafas, garrafões, frascos e embalagens
Vidro	Garrafas, frascos, copos
Metais	Latas e garrafas
Outros	Roupas, óleo de motor, resíduos eletrodomésticos

Fonte: Adaptado de Cortelletti (2019)

Conforme pesquisa do Instituto Brasileiro de Opinião Pública e Estatística (IBOPE) do ano de 2018, encomendada pela cervejaria Ambev e realizada com 1816 pessoas de todos os estados do país, 98% das pessoas acreditam que a reciclagem é algo importante para o futuro do país, porém 75% revelaram não separar seus resíduos em casa e 66% afirmam que sabem pouco ou nada sobre coleta seletiva (CORTELLETTI, 2019).

Os resíduos segregados pela coleta seletiva são encaminhados para a reciclagem. Esta medida propicia uma redução daquilo que seria descartado e um aproveitamento de sua potencialidade. Trata-se de medida cada vez mais empregada devido a fatores ambientais, econômicos e sociais. No Brasil, o alumínio é reciclado num montante de

98%, o ferro empregado na indústria é 65% proveniente de reciclagem, sendo esse valor equivalente a 30% para o aço.

Segundo Almeida *et al.* (2020), muitos fatores podem interferir na consolidação de um sistema de coleta seletiva em determinado local. Estes autores citam a renda econômica, variação sazonal e a segregação adequada.

É possível verificar boas práticas no gerenciamento de resíduos em outros países, podendo-se citar como exemplo a Alemanha, que possui elevados índices de reaproveitamento de forma que menos de 1% destes são enviados a aterros sanitários, sendo o objetivo é a recuperação completa, assim zerando a necessidade de envio a aterros sanitários. As medidas implantadas e que incentivaram mudanças de comportamento da população é a cobrança de taxas municipais para a coleta de resíduos, que ocorre desde o século 19. Além disso, há padronização nos recipientes para acondicionamento de lixo. Outro exemplo é a Suécia, que possui suas lixeiras públicas conectada a tubos subterrâneos e que direcionam os resíduos para uma área de coleta, denominado de sistema Envac. Estocolmo, capital do país, possui 100% de seus domicílios atendidos com coleta seletiva (CORTELLETTI, 2019).

Em Belo Horizonte, a coleta seletiva é realizada em duas modalidades. Na primeira, envolve a ida a locais de entrega voluntária, denominados de LEV, em que a pessoa deve se deslocar para destinação do resíduo, conhecida como “ponto a ponto”. A segunda forma, é pela coleta Porta a Porta (SOARES *et al.*, 2019). Conforme Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Belo Horizonte (PMGIRS-BH), em 2016, o município contava com coleta seletiva porta a porta em 36 bairros, atendendo a 383365 pessoas e 82 LEVs, possuindo 260 contêineres para papel, metal, plástico e vidro. A capital de Minas Gerais vem implementando a coleta seletiva desde a década de 1980, tendo tido êxito em alguns momentos, mas, atualmente, os resultados não podem ser considerados tão positivos neste quesito (ALMEIDA *et al.*, 2020).

O início do processo de implantação de coleta seletiva na década de 1990 no município serviu de referência para outras cidades do Brasil e contou com a participação de catadores. A modalidade ponto a ponto contava, no ano de 2017, com

74 LEVs, o seu início foi em 1995, quando foram implantados 38 LEVs e 51 contêineres, o valor passou a 176 em 2001, porém, a partir de 2005, o total começou a diminuir anualmente, chegando ao quantitativo atual. Isto ocorreu devido à deprecação dos dispositivos, assim como a transformação dos locais em área de despejos de dejetos sem controle, aumentando a proliferação de insetos e roedores nestes locais (ALMEIDA *et al.*, 2020).

Visando mudar este cenário, no ano de 2009, a prefeitura implantou o Programa BH Metas e Resultados, que visava, até o ano de 2015, aumentar a cobertura de serviços de coleta seletiva na modalidade ponto a ponto e a quantidade de LEVs. No entanto, a mobilização social não foi efetiva, levando a falhas de conservação e uso inadequado dos LEVs. A baixa adesão da população é um desafio que atrapalha a implantação da coleta seletiva (ALMEIDA *et al.*, 2020).

Compostagem

A compostagem é a degradação biológica de resíduos orgânicos, transformando-os em material estabilizado, um composto. É uma forma mais econômica e poupadora de espaço em aterros sanitários, visto que grande parte dos resíduos dispostos em aterros são orgânicos. (CORTELLETTI, 2019).

A implantação de uma composteira doméstica é simples, pois pode ser feita pelo próprio morador ou adquirida pronta. Silva *et al.* (2019), aponta vantagens da adoção desta prática, como o fato de ser um processo natural facilmente controlado e operado, que possibilita a obtenção de composto orgânico de qualidade para hortas domiciliares, incentivando até mesmo a sua implantação. Também pode ser realizado no próprio domicílio, demandando tempo relativamente curto e com poucos recursos financeiros.

Para a instalação desta ferramenta em um domicílio, primeiramente, deve ser definido local na residência, com solo impermeabilizado, de forma a evitar infiltração de chorume caso ocorra algum acidente. Além disso, o local deverá ser seco, fresco, protegido de insolação direta e de chuva. Depois de definido o local, a composteira deverá receber uma camada de aproximadamente 5 cm de resíduos como palha ou

folhas, posteriormente, inserir os restos de alimentos, nova camada de terra, com cerca de 5 cm e nova camada de palha e folha. Uma vez por semana deverá ser molhado e revolvido. O resíduo deverá ser cortado ou triturado em menores dimensões, podendo ser acrescido o pó de café (SILVA *et al.* 2019).

Os resíduos orgânicos podem ser classificados como castanhos e verdes, referindo-se à proporção de materiais inorgânicos, como carbono e nitrogênio em sua composição, teor de umidade e velocidade de decomposição. Os resíduos castanhos são aqueles com maior concentração de carbono, baixo teor de umidade e possuem decomposição lenta, já os verdes possuem maior quantidade de nitrogênio, maior umidade e decomposição mais rápida (SILVA *et al.* 2019).

O composto orgânico obtido ao final do processo é altamente nutritivo e possui a capacidade de contribuir para a estrutura e desenvolvimento das plantas no processo de absorção de água, macro e micronutrientes. Este composto deverá ficar pronto em um período compreendido entre 30 e 60 dias, quando isto ocorrer, deverá apresentar coloração escura, odor de terra, fiabilidade (solto) e ausência de organismos patogênicos, estando com elevado grau de estabilidade e maturidade (SILVA, P. *et al.*, 2019).

O processo de compostagem possui etapas com elevação de temperatura devido às atividades microbianas. O seu desenvolvimento depende de grupos de organismos que atuam na degradação da matéria orgânica em faixas de temperatura ótima, desta forma, segundo muitos pesquisadores, este parâmetro é um dos principais para a eficiência do processo (FREITAS *et al.*, 2017). Desta forma, este processo depende deste e de outros fatores (Quadro 7):

Quadro 7 – Fatores que influenciam no processo de compostagem

Umidade	O metabolismo microbiano depende da presença de água para o seu desenvolvimento.
Aeração	O processo de decomposição é aeróbio.
Temperatura	Ocorre elevação da temperatura durante o processo e microrganismos envolvidos depende de condições ótimas para a realização de seus processos.
Relação Carbono/Nitrogênio	É necessária uma relação carbono/nitrogênio favorável

Tamanho das partículas	As partículas não podem ser muito pequenas para evitar a compactação durante o processo, comprometendo aeração.
Presença de sementes, patógenos e metais pesados	Podem interferir na utilização agrícola do composto gerado.

Fonte: Adaptado de Silva et al. (2019)

Durante a realização do processo, se não houver correto manuseio, pode ocorrer a geração de odores relacionados à decomposição da matéria orgânica. Além disso, pode ser observada a presença de pequenos artrópodes na massa de resíduos orgânicos sob compostagem (SILVA, P. *et al.*, 2019).

Uma variação neste processo, em que se emprega minhocas, é chamado de vermicompostagem. Estes seres vivos propiciam aceleração na conversão da matéria orgânica. O resíduo orgânico, ao passar pelo intestino das minhocas, em que sofrem ação de bactérias, é enriquecido com substâncias reguladoras do crescimento de plantas e microrganismos nos solos. A espécie mais utilizada é conhecida como as vermelhas californianas (*Eisenia fétida*). As minhocas propiciam aumento de nitrogênio no substrato, além da mineralização de nitrogênio em formas facilmente assimiláveis pelos vegetais (SILVA *et al.*, 2016; GARCIAS, 2021).

3.3.4 Abastecimento de alimentos

Hortas domiciliares

A realização de cultivo de alimentos no meio urbano é uma prática já presente nas sociedades humanas há bastante tempo, passando a ter maior destaque a partir da década de 90, quando passou a ser vista como uma forma de integrar processos de desenvolvimento sustentável nas cidades (MOREIRA, 2018).

É possível verificar um crescimento no número de pessoas que vivem nas áreas urbanas e que se dedicam à atividades agrícolas, sendo a ocorrência maior em países menos desenvolvidos.

As hortas urbanas, principalmente no Brasil, foram inicialmente empregadas para a sobrevivência daqueles que viviam nestes locais. No início dos anos 2000, o governo passou a incentivar sua execução ao inseri-la como parte da política nacional de redução da pobreza e garantia de segurança alimentar. Além disso, o Ministério do

Desenvolvimento Social de Combate à Fome estabeleceu diretrizes para sua realização, a partir de então surgiram financiamentos para implantação de hortas comunitárias. Em 2018, a portaria nº 467 do Ministério do Desenvolvimento Social instituiu o Programa Nacional de Agricultura Urbana e Periurbana (CEOLIN *et al.*, 2021).

A agricultura urbana pode ser conceituada como a produção, transformação e prestação de serviços de produtos agrícolas, podendo esta prática estar relacionada ao autoconsumo, trocas e doações ou comercialização; associando práticas típicas do meio rural que são realizadas nas cidades e seus arredores imediatos (FALCE *et al.*, 2021; MOREIRA, 2018).

Normalmente, são empregadas técnicas mais sustentáveis, sem a aplicação de compostos químicos que podem ser prejudiciais ao meio ambiente, como agrotóxicos. Desta forma, estes alimentos, além de possuírem segurança alimentar pelas práticas envolvidas, contribuem para o desenvolvimento da biodiversidade no espaço urbano, que se encontra cada vez mais antropizado e impermeabilizado.

As hortas domiciliares, assim como as comunitárias, podem ser associadas à realização de técnicas de compostagem. Permitem que os recursos e insumos locais, como água, solo, resíduos sólidos, mão de obra e saberes, sejam empregados de forma eficiente e sustentável (MOREIRA, 2018).

O crescimento populacional associado ao crescimento das cidades vem proporcionando maior pressão sobre a demanda por alimentos. A agricultura urbana, em todas as suas formas de aplicação, oferece uma fonte alternativa de abastecimento para a população, principalmente a mais carente. É possível encontrar diversas hortas comunitárias no meio urbano, servindo, também, como uma forma de educação ambiental da comunidade.

Podem ser cultivadas plantas medicinais, ornamentais e alimentícias, aproveitando espaços públicos e domésticos (MOREIRA, 2018), bem como serem implantadas como Telhados Verdes.

Assim, pode-se citar como vantagem a utilização de resíduos orgânicos e a diminuição de sua disposição em aterros e/ou lixões, formação de microclimas, ganho estético paisagístico em espaços verdes na área urbana, propiciar maior infiltração e aproveitamento da água, servirem como atividade terapêutica e geração de renda, propiciar maior segurança alimentar, economia na aquisição de alimentos e melhorias na qualidade de vida, além de integrarem as pessoas envolvidas. Em alguns casos, podem servir como uma fonte de renda e serviço. Pode-se citar também o fato de reduzir o consumo de combustíveis fósseis devido à proximidade dos alimentos com o mercado consumidor e a utilização de espaços ociosos das cidades, no caso das hortas comunitárias (FALCE *et al.*, 2021; MOREIRA, 2018; SAVI *et al.*, 2019).

As hortas no meio urbano, tanto domésticas quanto comunitárias, agem sob quatro categorias, conforme apresentado no Quadro 8:

Quadro 8 – Vantagens de hortas urbanas por categorias

Meio ambiente	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de resíduos orgânicos; • Aumento da capacidade de infiltração de águas pluviais e diminuição de inundações; • Redução de temperatura pelo microclima urbano devido à maior presença de vegetais; • Diminuição de assoreamento de cursos d'água; • Diminuição de vazios urbanos com uma aplicação social e sem depósito de resíduos.
Saúde	<ul style="list-style-type: none"> • Ingestão de alimentos orgânicos (mais nutritivos e seguros); • Auxílio na cura de enfermidades pelo consumo de plantas medicinais; • Incentivo ao consumo de hortaliças, reduzindo casos de diabetes e obesidades; • Manejo de plantas reduz o <i>stress</i>.
Economia	<ul style="list-style-type: none"> • Redução de custos para cidadão na aquisição de hortaliças, plantas medicinais e temperos; • Redução de custos para poder público com o manejo e espaço para resíduos, medicações nos postos de saúde, etc.
Planejamento urbano	<ul style="list-style-type: none"> • Na medida que inclui espaços verdes nas cidades e locais de uso comum (hortas comunitárias).

Fonte: Adaptado de Oliveira *et al.* (2021)

Conforme citado na apresentação da publicação da UFPel (2021), denominado de “Hortas Urbanas: quando a sustentabilidade encontra a cidade”, o estágio em que a sociedade se encontra, período em que a humanidade constrói e cria novas coisas, levou a um distanciamento da natureza e de si mesmos, desta forma, apesar de maior longevidade, as pessoas vivem com mais comorbidades e graves problemas

ambientais. A presença de hortas no meio urbano pode parecer algo simples, mas trata-se de uma ferramenta que pode transformar a cidade e as pessoas.

Conforme Oliveira *et al.* (2021), os fatores que podem levar ao insucesso de hortas (domiciliares ou comunitárias) são indicados no Quadro 9.

Quadro 9 – Fatores que envolvem o processo

Capita	Recursos financeiros para compra de materiais para o desenvolvimento da horta e para irrigação
Trabalho	Para plantios e manutenções necessárias
Insumos	Materiais necessários para fazer e manter as hortas, como esterco, mudas, resíduos domésticos, etc.
Cooperação	União dos envolvidos no processo, mais fundamental em hortas comunitárias.
Equipamentos	Máquinas e ferramentas necessárias para o trabalho.

Fonte: Adaptado de Oliveira *et al.* (2021)

3.4 Adoção de tecnologias sustentáveis por usuários

Apesar de serem consideradas importantes na busca e promoção do equilíbrio entre as perspectivas social, econômica e ambiental, as tecnologias sustentáveis ainda enfrentam muitas barreiras para maior difusão na sociedade. Este fato pode estar relacionado a muitos motivos, podendo-se destacar fatores econômicos, técnicos e sociais como os principais (BJØRNSTAD, 2012).

A adoção destas técnicas por usuários pode ser representada por uma curva. Esta curva de difusão possui o formato de um “S”: início com menor taxa de adoção, seguida de crescimento da aplicação da técnica e, por fim, ocorre o decréscimo desta taxa até ao limite de difusão. Os autores relatam também que é possível classificar as pessoas como “inovadores”, “adotantes iniciais”, “maioria inicial”, “maioria tardia” e “retardatários” (BJØRNSTAD, 2012).

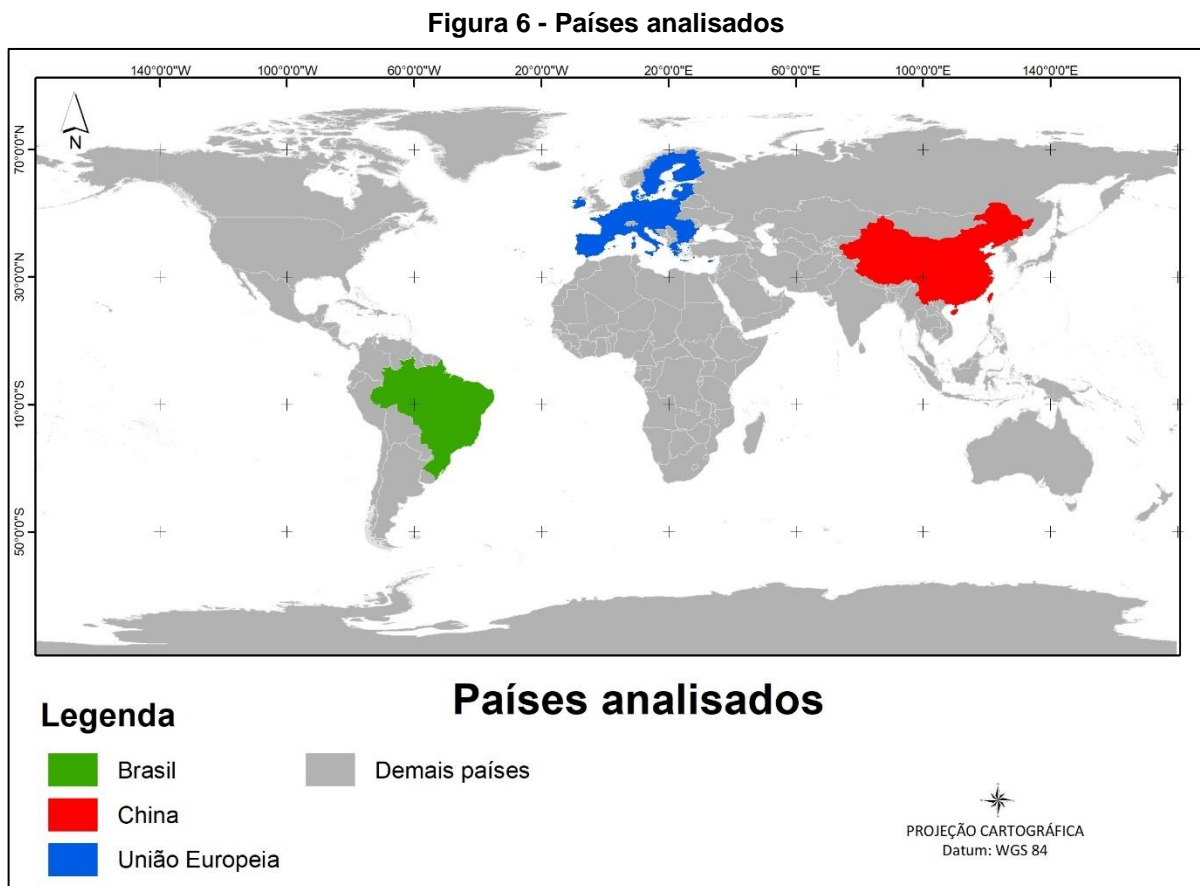
Segundo Diaz-Rainey *et al.* (2015), também é possível traçar uma relação entre o comportamento dos usuários na adoção de novas técnicas e algumas características pessoais de cada um destes indivíduos. Estas características envolvem *status* socioeconômico, nível educacional, valores pessoais, grau de informação e idade.

Alguns autores sugerem que esta condição pode ser modificada por meio de políticas públicas. Segundo Zhang *et al.* (2011), para promover o desenvolvimento sustentável,

o estado deve intervir com a promoção de políticas verdes, envolvendo a população e informando-a sobre as questões ambientais. Outras estratégias podem envolver incentivos fiscais e o incentivo do uso de novas tecnologias como modo de compensação pela deterioração e degradação ambiental.

3.5 Regulamentações e estratégias de incentivo internacionais

Foi realizado o levantamento referente às condições na China e União Europeia (UE), os quais foram escolhidos devido a sua relevância em questões referentes ao meio ambiente. A Figura 6 mostra a localização destes países no mapa geográfico.



Fonte: Autoria própria

O Quadro 10 apresenta as principais informações pesquisadas referentes ao aproveitamento de águas pluviais e à implantação de telhados verdes na UE e na China; o Quadro 11 sintetiza as principais informações obtidas referentes à gestão de resíduos sólidos; enquanto o Quadro 12 mostra as principais informações levantadas referentes à implantação da energia solar.

Quadro 10 – Quadro comparativo da implantação de telhados verdes e aproveitamento de águas pluviais em diferentes países

	União Europeia	China
Telhados verdes	<p>A União Europeia (UE) possui diversas legislações com foco na temática ambiental e que devem ser adotadas pelos países membros. Em relação à gestão de inundações, cada país possui soberania para tratar da temática. O que é importante, visto que no bloco são encontrados diferentes ambientes, com experiências próprias em relação às chuvas, assim como variada aceitação de novas técnicas pela população (GIMENEZ-MARANGES <i>et al.</i>, 2020).</p> <p>Conforme apontou o levantamento realizado por Gimenez-Maranges e colaboradores (2020), as soluções para os problemas de inundações e enchentes vêm se tornando cada vez mais sustentáveis. Porém, foi verificado que apesar do <i>boom</i> de trabalhos na área, o gerenciamento de chuvas encontra-se em seus “primeiros passos”, principalmente na adoção de técnicas sustentáveis, conhecidas como <i>Sustainable Drainage Systems</i> (SuDS) (GIMENEZ-MARANGES <i>et al.</i>, 2020).</p> <p>Estudos verificaram uma dificuldade na adoção de SuDS pela população na Suécia e no Reino Unido (agora fora da EU). Entretanto, são locais que mais possuem projetos pilotos do mundo (GIMENEZ-MARANGES <i>et al.</i>, 2020).</p> <p>Em 2020, época do estudo, o Reino Unido, a Suécia e a Dinamarca dominavam a implantação de SuDS, porém não possuíam regulamentação que tratasse desta questão. A porção leste da Europa encontra-se em uma fase bem inicial da adoção de tais tecnologias, sendo a porção sul do continente intermediária em sua adoção (GIMENEZ-MARANGES <i>et al.</i>, 2020).</p> <p>Mais precisamente em relação aos telhados verdes, Zambrano-Prado e colaboradores (2021) citam que as políticas existentes em cidades europeias são baseadas 79% na adoção de subsídios e 23% elaboração de estatutos.</p> <p>São encontrados diversos casos na Europa no geral, mas, em relação ao bloco econômico, pode-se citar o caso da Alemanha que possui pelo menos 48 cidades que propiciam suporte</p>	<p>A China é um país dividido em sete zonas climáticas, conforme padronização nacional presente no Padrão de Zoneamento Climático de Edifícios (<i>Building Climate Zoning Standard</i> - GB50178) e Padrão para Projetos de Construção Civil (<i>Uniform Standards for Civil Building Design</i> - GB50352-2019). Isso resulta em diferentes requisitos para elaboração de projetos arquitetônicos (DONG <i>et al.</i>, 2020).</p> <p>As cidades com a presença de telhados verdes são, principalmente, as desenvolvidas, como Pequim, Shanghai, Chengdu e Shenzhen. (DONG <i>et al.</i>, 2020). As cidades de outros países, como da Europa e América, possuem área <i>per capita</i> de telhados verdes de mais de 1 m², enquanto isso, Shenzhen, Pequim e Xangai, que possuem as maiores áreas com telhados verdes da China, têm, respectivamente, 0,21 m², 0,1 m² e 0,09 m² (DONG <i>et al.</i>, 2020).</p> <p>Chen e colaboradores (2019) citam quatro principais causas que dificultam a adoção de telhados verdes na China, sendo, em ordem de maior para menor relevância: aumento no custo de manutenção, aumento do custo de projeto e construção, pouco uso deste tipo de arranjo e falta de incentivos aos desenvolvedores destas estruturas. Os autores consideram que, para sua promoção, é necessário compensação financeira pelo governo local, pois sua adoção beneficia não apenas o responsável pela implantação como também o meio urbano. O estudo aponta a necessidade de implementar regulamentações que obriguem e incentivem telhados verdes em edifícios. Os governos locais podem adaptar sua regulamentação conforme as condições econômicas locais (CHEN <i>et al.</i>, 2019).</p> <p>Outro empecilho ao uso dos telhados verdes encontra-se no fato de que muitas vezes eles são implementados como uma propaganda ao edifício e que, posteriormente, apresentam problemas em sua manutenção ou ao que se propõe. Na China, existe grande quantidade de residências multifamiliares, neste contexto, os autores citam a necessidade de detalhes a serem incluídos em contratos (CHEN <i>et al.</i>, 2019).</p> <p>O governo chinês aumentou o financiamento de incentivos para os desenvolvedores de telhados verdes localizados em cidades que</p>

União Europeia		China
	<p>financeiro para aplicação de telhados verdes, o que cobre entre 50% e 60% dos custos de implantação. A França busca alterar lei nacional para requerer que todas as novas construções em zonas comerciais passem a contar com telhados verdes ou painéis solares. Paris conta com um dos programas pioneiros para a produção de alimentos em telhados de edifícios, além disso, por meio do programa <i>Parisculteurs</i>, são apoiados projetos de agricultura urbana em telhados e trabalhos desenvolvidos em edifícios públicos e privados desde 2016, quando ocorreram as primeiras chamadas (ZAMBRANO-PRADO <i>et al.</i>, 2021).</p> <p>Barcelona fez o seu primeiro concurso de Telhados Verdes em 2017, dos quais os projetos vencedores receberam um subsídio de até 75% do custo de construção (ZAMBRANO-PRADO <i>et al.</i>, 2021).</p>	<p>possuem rápido desenvolvimento e com grande densidade populacional, como Chongqing, Wuhan e Guangzhou, porém alguns autores citam que as políticas adotadas estão desatualizadas, fazendo com que os incentivos não tragam resultados (CHEN <i>et al.</i>, 2019).</p> <p>Atualmente, existem políticas em nível estadual que indicam diretrizes e objetivos para este setor. Em âmbito provincial e nas cidades, o governo também vem implementando várias políticas, mas grande parte inclui normas técnicas, padrões e métodos para orientação, assim como os já citados incentivo e subsídios financeiros (DONG <i>et al.</i>, 2020).</p> <p>Conforme Dong e colaboradores (2020), a China precisa de um maior desenvolvimento em suas políticas, com colaboração interdisciplinar e multissetorial. Além disso, indica-se haver necessidade de melhorar os detalhes das políticas existentes. Atualmente, muitas possuem informações desatualizadas.</p>
Aproveitamento de águas pluviais	<p>É possível encontrar variadas soluções e regularizações nos países da UE (Qtaishat <i>et al.</i>, 2022).</p> <p>As principais regulamentações referentes à água e/ou ao reúso de água da mesma na região são: Regulação (EU) 2020/741 que aborda os requisitos mínimos para uso de efluentes urbanos na irrigação da agricultura; Regulação (EU) 2020/741 (Qtaishat <i>et al.</i>, 2022).</p> <p>A maioria dos projetos descentralizados e de soluções de circulação de água se encontram em escala piloto ou projetos demonstrativos. Isso ocorre mesmo que tenha ocorrido a introdução de mais políticas e legislações que incentivem tais práticas (Qtaishat <i>et al.</i>, 2022).</p>	<p>A área urbana da China aumentou bastante entre os anos de 1981 e 2011, correspondendo a 7.438 km² e 43.000 km², respectivamente. Esta rápida urbanização proporcionou intensa impermeabilização do solo e, assim, aumento do volume de escoamento da água, gerando enchentes. Em pesquisa realizada em 2014, 641 das 654 cidades analisadas tinham sofrido com inundações frequentes. Por outro lado, algumas cidades sofrem com a falta de chuvas, de forma que, em 2009, foi verificado um percentual de 45% de cidades chinesas com deficiência de abastecimento (XIANG <i>et al.</i>, 2019).</p> <p>Em 2014, surgiu novo gerenciamento das águas de chuva, o qual passou a ser denominado de “<i>Sponge City</i>” (cidade esponja) (LIU <i>et al.</i>, 2022). O conceito de “<i>Sponge City</i>” começou como uma proposta de acadêmicos e do governo. Quando foram implementadas novas políticas de gestão (XIANG <i>et al.</i>, 2019).</p> <p>Nas regiões úmidas, a água da chuva pode ser coletada por meio de sistemas de captação, o que é mais viável economicamente que sua aplicação em locais áridos. Xangai, além de ser um centro econômico no país, encontra-se localizada em uma região úmida. Apesar disso, enfrenta muitos problemas relacionados com a água como: períodos de escassez, poluição de águas pluviais e inundações. Desta forma, ocorreu grande promoção da utilização de</p>

União Europeia	China
	<p>técnicas para captação da água de chuva. Ainda assim, a maioria dos sistemas empregados se encontram em escala piloto (LIU <i>et al.</i>, 2022).</p> <p>Nas grandes cidades, como Pequim e Xangai, ocorreu a primeira tentativa de um gerenciamento moderno das águas pluviais durante 2006 a 2010, com coleta de água de chuva. Os resultados foram positivos, porém não foi verificada grande adesão às técnicas devido à ausência de leis e regulações (XIANG <i>et al.</i>, 2019).</p>

Fonte: Autoria própria

Quadro 11 – Quadro comparativo da gestão de resíduos sólidos em diferentes países

União Europeia	China
<p>Na Europa, assim como em outras regiões do mundo, há elevada taxa de aterramento de resíduos ao mesmo tempo que a reciclagem possui baixa taxa (MINELGAITÉ <i>et al.</i>, 2019). Em relação aos países membros, é observada grande variação da geração <i>per capita</i>, assim como das taxas de reciclagem e de aterramento (CHIOATTO <i>et al.</i>, 2022). A maior geração é encontrada nos países mais desenvolvidos economicamente (MINELGAITÉ <i>et al.</i>, 2019).</p> <p>As políticas de gerenciamento de resíduos da União Europeia (UE) possuem como prioridade a redução, reutilização, recuperação energética e a disposição final. Foram estabelecidas metas de reutilização e reciclagem de resíduos municipais em até 70% antes de 2030 (MINELGAITÉ <i>et al.</i>, 2019).</p> <p>No ano de 2008, <i>Waste Framework Directive</i> introduziu a gestão sustentável de resíduos, que deveria ocorrer de acordo com a hierarquia dos resíduos. Este gerenciamento envolve uma proposta que conecte o tratamento do resíduo com a recuperação de recursos, possibilitando a valorização do fim-de-vida dos produtos e incentivando a circulação dos materiais. Com esta ideia, é esperada uma redução de 17% a 24% da necessidade de matéria-prima (CHIOATTO <i>et al.</i>, 2022).</p> <p>No ano de 2018, ocorreu a maior revisão nas diretivas relativas aos resíduos sólidos (Dir 2018/851 e Dir 2018/850), focando na reutilização e reciclagem, propondo metas de 55% em 2025, 60% em 2030 e 54% em 2035, assim como a taxa de aterramento menor que 10% em 2035. Porém cada país membro possui liberdade da implementação destas legislações, o que ocasiona em diferentes estratégias adotadas. Países do norte e centro da UE vêm adotando práticas como incineração, reciclagem e compostagem, enquanto no</p>	<p>Desde 2004, a China é considerada a maior geradora de resíduos sólidos municipais, coletando cerca de seis bilhões de toneladas de resíduos sem processamento. 200 das 660 metrópoles existentes no país estão passando por problemas com a gestão de resíduos (AWASTHI <i>et al.</i>, 2022). Os resíduos possuem variação em relação à localização geográfica e urbanização, isso ocasiona em complexidade para sua gestão (KHAN <i>et al.</i>, 2022).</p> <p>A gestão passa por diversos problemas, tais como dificuldade na separação e métodos de reciclagem, além de pouca transparência em informações sobre a geração (AWASTHI <i>et al.</i>, 2022).</p> <p>Segundo Awasthi e colaboradores (2022), algumas soluções para a gestão de resíduos seriam: segregação na fonte, melhorar a metodologia para reciclagem, novas legislações, melhorias nos locais de disposição na cidade, assim como a utilização de um sistema online e criação de critérios e caracterização para reciclagem de produtos. Muitas políticas e programas foram implementados nos últimos anos, como um programa piloto para reciclagem de resíduos urbanos e novas legislações.</p> <p>A incineração vem se tornando uma tecnologia de interesse na China, por possibilitar uma expressiva redução no volume de resíduos. Além disso, aterros demandam grandes extensões de áreas e, em grandes metrópoles, terrenos possuem valores elevados (AWASTHI <i>et al.</i>, 2022).</p> <p>A primeira legislação referente aos resíduos sólidos no país foi implementada em 1995, sendo alterada no ano de 2020. A separação de</p>

União Europeia	China
<p>mediterrâneo e porção oriental continuam com antigas práticas (CHIOATTO <i>et al.</i>, 2022).</p>	<p>resíduos ganhou mais atenção na China atualmente, tendo sido criados regulamentos como “<i>Classification Symbols for Municipal Solid Waste</i>” (GB/T19095-2008) e “<i>Classification and Evaluation Standard of Municipal Solid Waste</i>” (CJJ/T102-2004). Foi possível perceber maior adesão à reciclagem, havendo um aumento de 12,1% em 2006 para 17% em 2011, com uma diminuição no ano de 2015, apresentando 15,6% (KHAN <i>et al.</i>, 2022).</p> <p>Em 2017, o Ministério da Habitação e Desenvolvimento Urbano-Rural (MOHURD) da China estabeleceu como meta 35% de reutilização de resíduos domésticos até 2021. A partir daí, algumas cidades promulgaram regulamentos relacionados à gestão de resíduos, como Xangai, Hangzhou, Guangzhou e Xiamen. A separação de resíduos não é aplicada em todas as regiões do país, o que atrapalha a implementação de uma política nacional (KHAN <i>et al.</i>, 2022).</p>

Fonte: Autoria própria

Quadro 12 – Quadro comparativo da implantação de energia solar em diferentes países

União Europeia	China
<p>A política energética na União Europeia (UE) é amplamente discutida sobre quem deve ter competência para sua gestão, ou seja, o bloco como um todo ou cada país membro, independentemente. O artigo 194º do Tratado sobre o Funcionamento da União Europeia inclui a energia entre as competências das autoridades nacionais e supranacionais, mas disputas sobre este tema são constantes (OSIČKA <i>et al.</i>, 2022).</p> <p>No amplo processo de descarbonização da economia mundial, a UE possui a meta de obter <i>status</i> de carbono neutro a partir do ano de 2050. Existem metas para aumento de 32% do uso de energias renováveis e aumento de eficiência de 32,5% (PEÁLOZA <i>et al.</i>, 2022). A UE estabeleceu como regulamentação do mercado interno de eletricidade a regulação (UE) 2019/943(ZSIBORÁCS <i>et al.</i>, 2022).</p> <p>As estratégias aplicadas na UE para permitir a transição energética são focadas em propiciar maior flexibilidade da rede, com maior participação de fontes renováveis. Para ser pioneira, a região foca em estudos e atividades para desenvolvimentos de produtos, assim como a busca por metodologias mais efetivas. Estas modificações permitem, não apenas a adoção de tecnologias</p>	<p>Combustíveis fósseis são a principal fonte de geração de energia no país, satisfazendo a sua maior demanda. Porém, a crise climática global está levando a China a buscar fontes alternativas, tendo sido propostos programas severos para aumentar o uso de energias renováveis (LIANG <i>et al.</i>, 2022).</p> <p>A China possui como foco se tornar carbono neutro a partir de 2060. Para isso, as energias renováveis solar e eólica se apresentam como alternativas com bom custo competitivo. No ano de 2019, encontravam-se instalados sistemas com capacidade de 204 GW, o que significava 3,9% do consumo elétrico nacional (JI <i>et al.</i>, 2022).</p> <p>A incidência de radiação nas porções central e sul, assim como nordeste possuem insuficiência de irradiação solar. Conforme levantamento geográfico de Ji e colaboradores (2022), foi possível verificar que os locais com melhor viabilidade são o Tibet e o noroeste da China. Neste estudo, foi possível estimar uma capacidade potencial de geração fotovoltaica de 1,08 TW, o que significa 53,7 vezes maior do que estava instalado em 2019.</p>

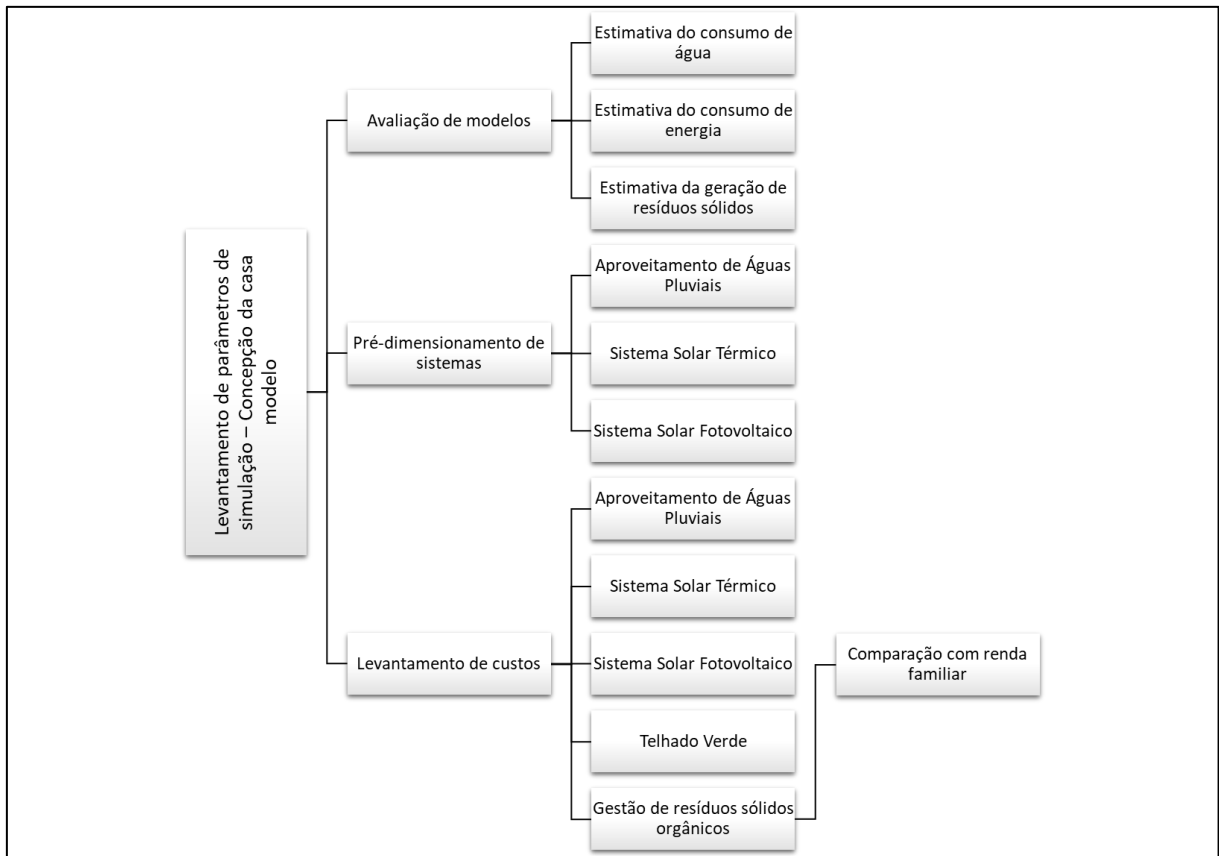
União Europeia	China
<p>renováveis, como também a redução da queima de combustíveis fósseis (ZSIBORÁCS <i>et al.</i>, 2022).</p> <p>Nos últimos anos, houve aumento considerável da geração de energia solar fotovoltaica, sendo esperado maior dependência desta tecnologia a partir do ano de 2050 (ZSIBORÁCS <i>et al.</i>, 2022).</p> <p>Estudos afirmam que as maiores barreiras existentes à energia fotovoltaica estão relacionadas às políticas adotadas, performance dos equipamentos e auxílios financeiros (PEÁLOZA <i>et al.</i>, 2022).</p> <p>Com o início da guerra na Ucrânia desde fevereiro de 2022, a UE vem vivendo crescentes desafios no setor de energia. Os Estados Unidos da América, por meio da Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN), exigiram embargos comerciais à Rússia, assim impedindo o fornecimento de gás russo à UE, apesar de sua forte e tradicional dependência à Rússia e das vantagens pelo transporte via gasodutos e seu baixo preço. Ocorreram grandes aumentos no preço do gás comprado pela UE, que passou a ser fornecido pelos Estados Unidos, via navios. Este novo contexto está propiciando um desafio aos objetivos traçados para as políticas energéticas na Europa. Ao mesmo tempo, este conflito exige a busca de formas mais seguras de obtenção energética (OSIČKA <i>et al.</i>, 2022).</p> <p>Conforme fala de Christian Lindner, Ministro de Finanças Alemão, “Energia renovável é a energia da liberdade”, o que indica que talvez o bloco econômico passe a focar ainda mais em fontes renováveis. Esta situação de crise pode fazer com que em países nos quais as elites políticas são relutantes na adoção de tais tecnologias, como República Tcheca ou Polônia, passem a ver com outros olhos, ao mesmo tempo aqueles já comprometidos, irão se comprometer mais ainda (OSIČKA <i>et al.</i>, 2022).</p>	<p>Em relação às principais barreiras à adoção de tecnologias solares, o estudo realizado por Liang e colaboradores (2022) destacou a barreira tecnológica, a falta de transparência e responsabilidade, a pandemia de COVID-19, questões financeiras, aspectos de regulamentação política e, por fim, infraestrutura. Segundo estes autores, o setor da tecnologia solar possui alto risco no país, também, não existe transparência na implementação de normas e regulações. Além disso, é verificada alta burocracia e alta tributação, assim como o monopólio de instituições governamentais. O país depende de países estrangeiros para obtenção de equipamentos chaves para construção de fazendas solares. Isto não aumenta tanto os custos, porém diminui o crescimento doméstico da indústria solar. Em relação a outras indústrias renováveis, a produção solar não é muito desenvolvida na China (LIANG <i>et al.</i>, 2022).</p> <p>Nos últimos 10 anos, aumentaram subsídios no país para incentivar o uso residencial desta tecnologia. Na China, este produto foi recentemente inserido, assim, consumidores chineses possuem baixa adesão. Há maior dificuldade de implantação em edifícios devido à necessidade da anuência de todos os responsáveis (WANG <i>et al.</i>, 2022).</p>

Fonte: Autoria própria

4 MATERIAL E MÉTODO

O desenvolvimento do presente trabalho pode ser sintetizado pelo fluxograma apresentado na Figura 7. Estas etapas são melhor descritas nas seções a seguir.

Figura 7 – Síntese da metodologia empregada na pesquisa



Fonte: Autoria própria

4.1 Levantamento de informações sobre as práticas e tecnologias

Para aprofundamento de informações sobre as práticas e tecnologias abordados no presente estudo, foi realizada uma revisão de literatura. Foram usadas como base trabalhos acadêmicos referentes ao aproveitamento de águas pluviais, telhados verdes, tecnologia solar térmica, tecnologia solar fotovoltaica, segregação de resíduos, compostagem e hortas urbanas.

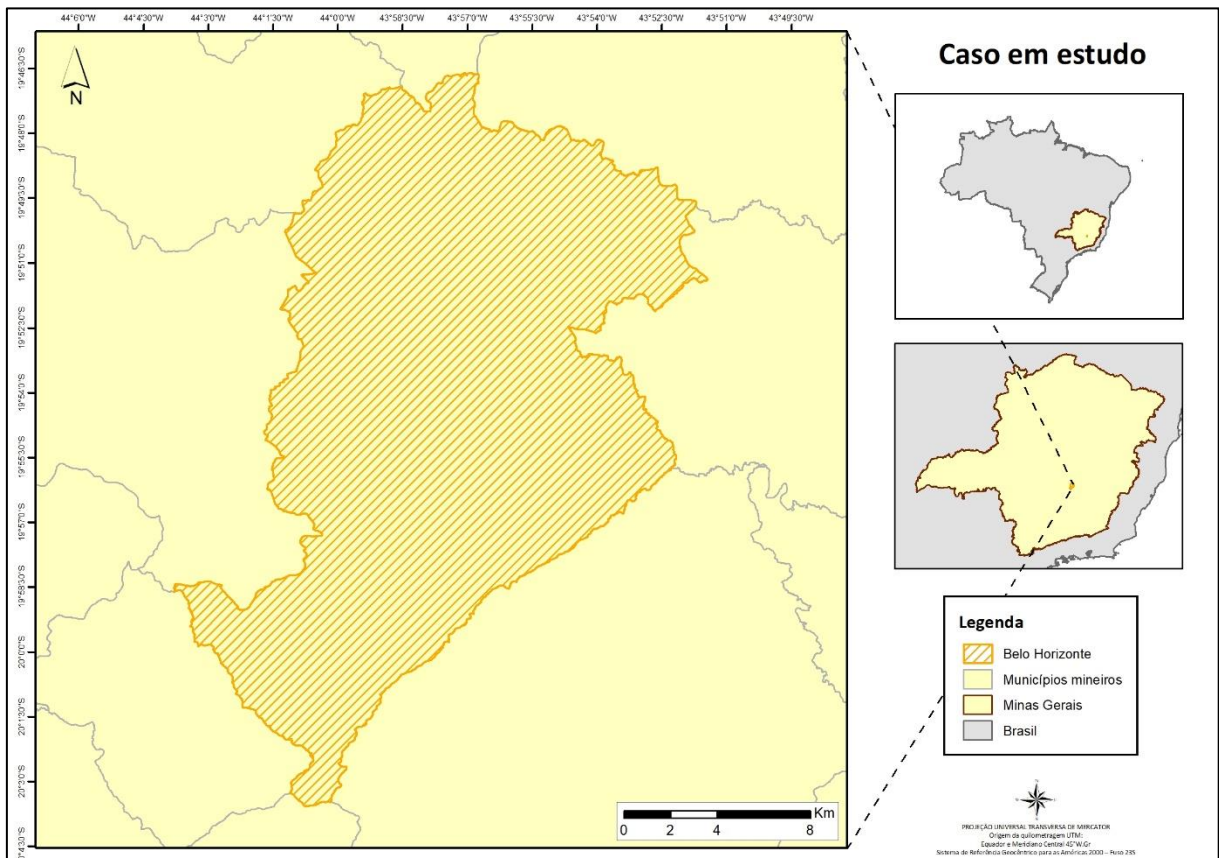
As fontes de referência foram estudos internacionais e nacionais dos últimos cinco anos. Para acesso aos mesmos, o levantamento ocorreu por meio de plataformas como Capes e Google Scholar.

As informações de interesse sobre as tecnologias sustentáveis tratam de princípios de funcionamento, aspectos históricos de sua aplicação, estruturas envolvidas, vantagens e desvantagens; e outras condições relevantes.

4.2 Caso em estudo

O estudo foi conduzido tendo como base as condições existentes em Belo Horizonte/MG, capital do estado de Minas Gerais, localizada na região sudeste brasileira, conforme mostrado na Figura 8.

Figura 8- Mapa da localização do município de Belo Horizonte em relação ao estado de Minas Gerais e o Brasil



Fonte: Autoria própria

Na cidade de Belo Horizonte, o serviço de tratamento e abastecimento de água é realizado pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA. Conforme declarado por esta autarquia junto ao Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS), em 2020, o consumo médio de água *per capita* foi de 156,20 L/(hab.dia). Existe um índice médio de perdas em um nível de 42,96%, sendo a tarifa

média de R\$ 6,15 por m³. Quase a totalidade do município possui a canalização interna em pelo menos um cômodo (97,73%) (INFOSANBAS, 2023).

Em relação ao fornecimento de energia elétrica municipal, este serviço é prestado pela Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG, sediada há cerca de 70 anos no município. Atualmente, a empresa é responsável pela distribuição e comercialização de energia e gás natural para outros municípios mineiros e do estado do Rio de Janeiro, Brasil (CEMIG, 2021).

A gestão de resíduos sólidos é conduzida pela Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte. Há cobrança pela coleta, transporte e destinação final destes resíduos mediante um percentual específico no Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) cobrado anualmente (INFOSANBAS, 2023).

Os dados de consumo de energia elétrica e água foram obtidos junto às Concessionárias que atendem o município de Belo Horizonte, qual sejam a CEMIG e a COPASA MG, respectivamente, conforme ofícios apresentados no Apêndice A. Os dados de geração de resíduos sólidos para a cidade são disponibilizados pela Superintendência de Limpeza Urbana (SLU) no Portal de Dados Abertos da Prefeitura de Belo Horizonte (PBH). Foram empregados os dados mais recentes no final de 2022 para água e energia elétrica, quanto aos dados fornecidos pela SLU, são referentes ao ano de 2021.

Os dados de resíduos sólidos da SLU empregados foram referentes às coletas de Resíduos Domiciliares (RDO). Considera-se que estes dados sejam inferiores à geração real, visto que parte dos resíduos não é coletada, não sendo, assim, computada. Além disso, existe a ocorrência da reciclagem não oficial, que pode mascarar os resultados.

Devido à diferença na forma de desagregação dos dados disponíveis, optou-se pela análise do consumo e da geração média de resíduos para o município como um todo.

O município serviu, também, de referência para obtenção de informações como: custos para implantação das diferentes tecnologias, dados populacionais, dados de

consumo de água e de energia, geração de resíduos sólidos domésticos, assim como informações climáticas e geográficas para pré-dimensionamento .

4.2.1 Análise da distribuição populacional e renda familiar por classe e por habitante

Tomando como base o método aplicado por Dias *et al.* (2012) e Dias *et al.* (2014), os dados socioeconômicos adotados para a população foram baseados no estudo “Critério de classificação econômica Brasil: Alterações na aplicação do critério Brasil, válidas a partir de 01/06/2022” elaborado pela Associação de Empresas de Pesquisa (ABEP), estas informações foram empregadas para estimativa da distribuição da população do município em classes relativas à renda familiar mensal.

Esta escala de classes possui grande similaridade com a empregada pelo Instituto de Economia da Universidade Estadual de Campinas - Unicamp, a qual possui grande aceitação no meio econômico e permite avaliar o poder aquisitivo para cada segmento da população (DIAS *et al.*, 2010). Conforme a fonte consultada, a população pode ser dividida em seis classes econômicas de acordo com renda familiar mensal.

Este estudo apresenta uma estimativa do percentual de indivíduos presentes em cada uma destas classes, tal como observa-se na Tabela 1. Atualmente, devido à grande semelhança entre as categorias “D” e “E” e a dificuldade de mensurar “E” separadamente, ocorreu a junção destas classes como “D-E” (OPUS, 2018).

Tabela 1 – Renda familiar mensal estimada para cada classe econômica da Região Metropolitana de Belo Horizonte

Classe econômica	Renda familiar mensal (R\$)	Distribuição população
A	21826,74	8,1%
B1	10361,48	7,6%
B2	5755,23	20,6%
C1	3276,76	22,2%
C2	1965,87	25,1%
D – E	900,6	16,4%

Fonte: ABEP (2022)

A partir destes dados e, correlacionando à população belorizontina estimada em 2.530.701 pessoas para 2021, pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, foi possível estimar o quantitativo de pessoas inseridas em cada uma destas classes econômicas. Para as análises, foram considerados, ainda, 3,1 habitantes por

domicílio, tal como empregado no estudo realizado por Dias *et al.* (2014) e que refere-se ao quantitativo médio informado no Censo Demográfico de 2010 para o município em estudo.

4.3 Levantamento de custos

4.3.1 Parâmetros de simulação – Conceção da casa modelo

Foi concebida uma moradia “modelo” para o município escolhido. Esta serviu de base para o pré-dimensionamento dos sistemas solar térmico, solar fotovoltaico e de aproveitamento de águas pluviais, bem como para o levantamento de custos para a implantação destas tecnologias e das demais analisadas. Foram definidos parâmetros de simulação de acordo com dados secundários obtidos em diferentes fontes. O Quadro 13 apresenta a base de dados de referência para cada variável.

Quadro 13 – Base de dados consultada para obtenção de cada variável

Variável	Referência empregada	Valor Empregado
Estimativa populacional	IBGE (2021)	2.530.701
Nº de habitantes por domicílio	IBGE Censo (2010)	3,1
Classes econômicas, renda familiar mensal, distribuição da população	ABEP (2022)	Variável (Tabela 1)
Consumo médio de água <i>per capita</i>	COPASA (Companhia de Saneamento de Minas Gerais)	123,68 L/hab.dia
Consumo médio de energia elétrica <i>per capita</i>	CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais)	1,63 kwh/hab.dia
Geração de resíduos sólidos <i>per capita</i>	Superintendência de Limpeza Urbana (SLU)	0,69 kg/hab.dia
Tamanho do telhado / Área de coleta sistema de coleta de chuva / Área telhado verde	Norma ABNT NBR 12721:2006	Variável (Tabela 2)
Precipitação anual	Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)	1578,3 mm
Valor numérico de meses de pouca chuva ou seca	Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)	6
Vazão de utilização do aparelho e tempo médio de utilização diário	Norma ABNT NBR 15569:2020	Variável (Tabela 3)
Temperatura ambiente	Norma ABNT NBR 15569:2020	22,5°C
Irradiância	Portal SunData	5,13 kWh/m ² .dia
Potência nominal do módulo fotovoltaico	Empresas que implantam Sistemas Solares Fotovoltaicos em BH	550 kWh
Área do módulo fotovoltaico	Empresas que implantam Sistemas Solares Fotovoltaicos em BH	2,58 m ²

Fonte: Autoria própria

Conforme preconizado na Tabela 1 da Norma ABNT NBR 12721:2006, a residência popular (RP1Q) analisada neste estudo será “composta de dois dormitórios, sala, banheiro e cozinha”, perfazendo uma área total de 39,56 m². Ao mesmo tempo, a residência de padrão alto (R1-A) contará com “quatro dormitórios, sendo um suíte com banheiro e *closet*, outro com banheiro, banheiro social, sala de estar, sala de jantar e sala íntima, circulação, cozinha e área de serviço completa e varanda (abrigo para automóveis” e sua área total será de 224,82 m².

A Tabela 2 sintetiza a área total do telhado que foi empregada para dimensionamento e levantamento de custos de sistema de aproveitamento de águas pluviais e telhado verde.

Tabela 2 – Tamanho do telhado para uma residência popular e para uma residência de alto padrão

Residência popular	Residência de alto padrão
39,56 m ²	224,82 m ²

Fonte: ABNT NBR 12721:2006

4.3.2 Avaliação de modelos para estimativa de consumo de água e energia e geração de resíduos sólidos

4.3.2.1 Análise do consumo de água

Para estimativa do consumo de água e energia, foram empregados os modelos elaborados por Dias *et al.* (2014), que consideram variáveis econômicas, como renda *per capita*. A fórmula proposta para consumo de água é a representada pela Equação (1):

$$Q = \sum_i^n P * (47,058 * \ln(x) - 146,44) \quad (1)$$

Na qual:

Q = Volume consumido total de água por dia (L/dia);

x = Renda *per capita* mensal (R\$/Mês);

i = número de faixas socioeconômicas, variando de 1 a n;

P = População estimada para a classe.

4.3.2.2 Análise do consumo de energia elétrica

Para estimativa do consumo energético, estes autores propõem a Equação (2):

$$C = \sum_i^n P * (-0,0000005x^2 + 0,0036x + 0,2755) \quad (2)$$

Na qual:

C = Quantitativo consumido total de energia elétrica por dia (kWh/dia);

x = Renda *per capita* mensal (R\$/mês);

i = número de faixas socioeconômicas, variando de 1 a n;

P = População estimada para a classe.

4.3.2.3 Análise da geração de resíduos sólidos

Para estimativa da geração de resíduos sólidos, Dias *et al.* (2012) propõem a Equação (3):

$$G = \sum_i^n P * (-0,00000005x^2 + 0,0006x + 0,2848) \quad (3)$$

Na qual:

G = Quantitativo total produzido de resíduos sólidos domiciliar por dia (kg/dia);

x = Renda *per capita* mensal (R\$/mês);

i = número de faixas socioeconômicas, variando de 1 a n;

P = População estimada para a classe.

4.3.3 Pré-dimensionamento de sistemas e levantamento de custos

Com base nos dados de consumo de energia elétrica e de água, foi possível realizar o pré-dimensionamento dos sistemas por meio de cálculo usando como base os métodos presentes em literatura para: aproveitamento de águas pluviais, sistema solar térmicos e sistema solar fotovoltaico.

A partir das informações sobre consumo de água e de energia elétrica e área do telhado, foi possível realizar o contato com empresas locais e lojas especializadas para os levantamentos dos custos necessários para a implantação destas tecnologias em residências. O contato com as empresas ocorreu por meio de e-mails e acesso à site de lojas online que ofertassem tais serviços.

4.3.3.1 Aproveitamento de águas pluviais

A norma ABNT NBR 15527:2007 instrui sobre o adequado dimensionamento de sistemas para aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis. O Anexo A desta norma apresenta diferentes métodos de cálculos para dimensionamento dos reservatórios a serem empregados em tais sistemas: Método de Rippi, Método da simulação, Método Azevedo Neto, Método Prático alemão, Método prático inglês e Método prático australiano.

Para este trabalho, foi escolhido o Método Azevedo Neto devido à simplicidade e por considerar meses de pouca chuva ou seca, refletindo melhor a condição existente no Brasil. Desta forma, o cálculo que foi empregado é apresentado na Equação (4).

Volume de chuva

$$V = 0,042 \times P \times A \times T \quad (4)$$

Na qual:

V = valor numérico do volume de chuva aproveitável e o volume de água do reservatório (L);

P = precipitação média anual (mm);

A = área de coleta (m²);

T = número de meses de pouca chuva ou seca.

Precipitação média anual e valor numérico de meses de pouca chuva ou seca

Para definição da precipitação média anual e o quantitativo de meses de pouca chuva, foram analisados dados do INMET referentes às Estações Meteorológicas instaladas no município de Belo Horizonte.

Como a norma ABNT NBR 15527:2007 não especifica a forma de determinar os meses de pouca chuva, foi considerado, tal como Silva, K. *et al.* (2019), o quantitativo de meses com precipitação igual ou inferior a 70% da média mensal.

Área de coleta

A área de coleta empregada foi referente às dimensões do telhado tal como citado na Tabela 2.

4.3.3.2 Sistema solar térmico

O dimensionamento de Sistema de Aquecimento Solar para residências unifamiliares é apresentado no item B2 do Anexo B da norma ABNT NBR 15569:2020, que trata de sistemas de aquecimento solar de água em circuito direto. Este cálculo considera uma fração solar (relação entre a energia coletada pelo sistema solar e a energia demandada para o aquecimento) (FONSECA *et al.*, 2018) de 70% e que não haja sombreamento sobre os coletores. Apresenta-se na sequência a série de cálculos empregados para o sistema.

Volume de consumo de água quente

O volume de consumo de água quente é calculado conforme mostrado na Equação (5)

$$V_{consumo} = \sum (Q_{pu} \times T_u \times \text{frequência de uso}) \quad (5)$$

Na qual:

$V_{consumo}$ = volume total de água quente consumido diariamente (L);

Q_{pu} = vazão de utilização do aparelho (L/min);

T_u = tempo médio de utilização diário do aparelho (min);

Frequência de uso = número total de utilização diário do aparelho.

Vazão de utilização do aparelho e tempo médio de utilização diário

A Norma ABNT NBR 15569:2020 apresenta em seu Anexo C valores referenciais e que podem ser empregados referentes ao consumo mínimo, máximo e tempo médio de utilização diário por pessoa (ciclo diário). O Tabela 3 apresenta estes dados informados e que serviram de base para o dimensionamento deste sistema.

Tabela 3 – Dados referenciais apresentados no Anexo C da norma ABNT NBR 15569:2020

Aparelhos	Consumo mínimo	Consumo máximo	Ciclo diário (minuto/pessoa)
Ducha de banho	3,0 L/min	15,0 L/min	10
Lavatório	3,0 L/min	4,8 L/min	2
Banheira	80 L	440 L	Banho
Pia de cozinha	2,4 L/min	7,2 L/min	3
Lava-louças (12 pessoas)	20 L	20 L	Lavagem
Máquina de lavar roupa	90 L	200 L	lavagem

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15569:2020

Coletor solar

Conforme ABNT NBR 15569:2020, para dimensionamento do coletor solar, deve-se considerar as características de consumo, temperatura de armazenamento, pressão de trabalho e características da água. Os parâmetros que influenciam são a eficiência térmica para a aplicação pretendida, aspectos referentes à localização, orientação, inclinação e sombreamento de onde será instalado e compatibilidade de uso.

Volume do Sistema de armazenamento

Para dimensionar o armazenamento, os parâmetros que foram avaliados são a perda térmica, a estratificação térmica e a compatibilidade de uso (ABNT NBR 15569:2020).

O volume do sistema de armazenamento foi calculado conforme Equação (6).

$$V_{armazenamento} = \frac{V_{consumo} \times (T_{consumo} - T_{ambiente})}{(T_{armazenamento} - T_{ambiente})} \quad (6)$$

Na qual:

$V_{armazenamento}$ = volume do sistema de armazenamento (L), recomenda-se que seja maior ou igual 75% do $V_{consumo}$;

$V_{consumo}$ = volume de consumo diário (L);

$T_{consumo}$ = temperatura de consumo da utilização (°C), recomenda-se que seja adotado 42° para ducha e lavabo;

$T_{armazenamento}$ = temperatura de armazenamento de água (°C), recomenda-se que seja maior igual ao $T_{consumo}$;

$T_{ambiente}$ = temperatura ambiente média anual do local de instalação expressa em graus Celsius (°C). conforme Anexo D da ABNT NBR 15569:2020, o valor para Belo Horizonte é 22,5°C.

Energia útil

Conforme ABNT NBR 15569:2020, a Energia Útil é definida como a energia que efetivamente é aproveitada no processo para incrementar a temperatura do fluido de trabalho após a conversão da energia solar em energia térmica. A Equação (7) demonstra a forma como obter este parâmetro.

$$E_{\acute{u}til} = \frac{V_{armazenamento} \times \rho \times C_p \times (T_{armazenamento} - T_{ambiente})}{3600} \times 30 \text{ dias} \quad (7)$$

Na qual:

$E_{\acute{u}til}$ = energia útil (kWh/mês);

$V_{armazenamento}$ = Volume do sistema de armazenamento (L);

ρ = massa específica da água (1 kg/L);

C_p = calor específico da água (4,18 kJ/kg.°C);

$T_{armazenamento}$ = temperatura de armazenamento da água (°C);

$T_{ambiente}$ = temperatura ambiente média anual do local de instalação (°C), conforme Anexo D da ABNT NBR 15569:2020, o valor para Belo Horizonte é 22,5°C.

Fator de correção para inclinação e orientação do coletor solar

O fator de correção é calculado conforme indicado na Equação (8):

$$FC_{instal} = \frac{1}{1 - [1,2 \times 10^{-4} \times (\beta - \beta_{ótimo})^2 + 3,5 \times 10^{-5} \times \gamma^2]} \quad (8)$$

Na qual:

FC_{instal} = fator de correção para inclinação e orientação do coletor;

β = inclinação do coletor em relação ao plano horizontal (°), $15^\circ < \beta < 90^\circ$;

$\beta_{ótimo}$ = inclinação ótima do coletor para o local de instalação (°), a norma ABNT NBR 15569:2020 recomenda que seja adotado o valor de módulo da latitude local + 10° (Belo Horizonte: 29°);

γ = ângulo de orientação dos coletores solares em relação ao norte geográfico (°)

Área coletora

A área coletora é calculada de acordo com a Equação (9):

$$A_{coletora} = \frac{(E_{útil} + E_{perdas}) \times FC_{instal} \times 4,89}{PMEE \times I_G} \quad (9)$$

Na qual:

$A_{coletora}$ = área coletora (m²);

$E_{útil}$ = energia útil (kWh/mês);

E_{perdas} = somatório das perdas térmicas dos circuitos primário e secundário (kWh/mês)
(15% da energia útil);

FC_{instal} = fator de correção para inclinação e orientação do coletor solar;

I_G = irradiação global média anual diária para o local de instalação (kWh/m²), conforme Anexo D da ABNT NBR 15569:2020, o valor para Belo Horizonte é 6,6 kWh/m².dia.

PMEE = produção média mensal de energia específica do coletor solar (kWh/(mês.m²)), este valor pode ser encontrado na Etiqueta Nacional de Conservação de Eficiência Energética publicada no site do INMETRO.

4.3.3.3 Sistema solar fotovoltaico

Para dimensionamento de Sistema Solar Fotovoltaico foram utilizadas as recomendações presentes no Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos elaborado pelo Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito (CRESESB) no ano de 2014. Os cálculos necessários para este dimensionamento são apresentados na sequência

Potência de pico do sistema

Para o dimensionamento de um sistema solar fotovoltaico, em posse do consumo energético por mês, foi empregada a Equação (10) referente à potência pico do sistema.

$$P_i = \frac{E}{HSP \cdot PR \cdot n} \quad (10)$$

Na qual:

P_i = Potência a instalar (kWp);

E = Energia estimada mensal (kWh/mês);

HSP = Horas de sol pleno;

PR = Desempenho Global;

n = número de dias no mês.

Horas de Sol Pleno - HSP

O parâmetro “Horas de Sol Pleno” (HSP) representa o número de horas que a irradiância solar foi constante ou igual a 1 kW/m², tendo sido calculada conforme a Equação (11).

$$HSP (h/dia) = \frac{\text{irradiância do local } (kWh/m^2.dia)}{1 kW/m^2} \quad (11)$$

Irradiância

A irradiância é a potência da radiação solar que incide em uma área, sendo expressa em W/m² (Watts por metro quadrado). Para saber o valor deste parâmetro para dada localidade, é possível empregar diferentes ferramentas, dentre as quais pode-se citar o acesso ao SunData (disponível no link <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>). Neste site, ao informar as coordenadas geográficas, foi possível obter informações sobre a irradiância solar diária média em kWh/m².dia para todos os meses do ano ou uma média anual (GÓMEZ *et al.*, 2018).

Desempenho Global - PR

Dentre os diferentes índices de desempenho para sistemas fotovoltaicos, existe o Desempenho Global, em inglês *Performance Rate*. Nele é representada a relação entre a produtividade do sistema e a quantidade de Horas de Sol Pleno, refletindo a conversão de energia solar em energia elétrica. Trata-se de parâmetro adimensional e que varia entre 60 a 90%. Sendo geralmente considerado o valor de 75% relacionado à perdas por temperatura do módulo, inversor, conexões, sujeira, sombreamento, capacidade do equipamento e degradação.

Número de módulos

Para obter a quantidade de módulos necessários para o abastecimento energético, realizou-se a divisão da potência a instalar pela potência nominal de cada módulo, conforme Equação (12).

$$N^{\circ} \text{ de módulos} = \frac{P_i (W)}{\text{Potência nominal do módulo (W)}} \quad (12)$$

Área total

A área total necessária para a aplicação dos módulos foi calculada pela expressão (13).

$$A_t = N^{\circ} \text{ de módulos} \times \text{Área do módulo} \quad (13)$$

4.3.4 Análise da Viabilidade Econômica

Além disso, realizou-se uma análise da viabilidade econômica das propostas enviadas para implementação de Aproveitamento de Águas Pluviais, Sistema Solar Térmico e Sistema Solar Fotovoltaico.

Com esta finalidade, foram analisados o *Payback*, Taxa de retorno do Investimento (TIR) e Valor Presente Líquido (VPL).

Payback

O *Payback* permite avaliar quando um investimento se pagará e passará a proporcionar ganhos efetivos (SANTO *et al*, 2014). Neste trabalho, foi analisado o *payback* simples, em que é considerado apenas o valor investido, sem contar com a variação do valor do dinheiro no tempo.

Este parâmetro é analisado por meio de uma tabela demonstrativa da depreciação do valor investido *versus* o valor economizado pela implementação da tecnologia, seja na conta de luz ou de água, neste caso.

Os valores investidos considerados foram os informados pelas empresas fornecedoras e o período de análise refere-se ao tempo esperado do funcionamento destes sistemas.

Em relação ao valor economizado com energia e água, foram considerados os dados de consumo fornecidos pelas concessionárias para elaboração do presente trabalho. O valor empregado para energia foi B1 – Residência para bandeira verde. Utilizou-se os dados para consumo normal e para baixa renda apresentados no site da CEMIG consultado em 06 de julho de 2023. Da mesma forma, no cálculo do custo anual de água, foram considerados os valores de água e esgoto para as categorias Residencial Social e Residencial apresentada na Resolução ARSAE/MG 173, de 24 de novembro de 2022.

Valor Presente Líquido (VPL)

Este parâmetro permite verificar o valor atual do retorno de um investimento, possibilitando avaliar se o projeto possui viabilidade ou não. Para seu cálculo, atualiza-se o fluxo de caixa do investimento para um valor atual (PEREIRA, 2022).

É empregada uma taxa de desconto denominada de Taxa Mínima de Atratividade (TMA) que permite uma comparação dos ganhos de uma aplicação financeira. Por se tratar de um consumidor residencial, tal qual Sousa *et al.* (2014), adotou-se empregar o rendimento dos últimos 12 meses para a cadernete de poupança, investimento que se encontra dentro deste perfil de consumidor. Este valor atualizado em 01 de junho de 2023 é de 6,17%.

A fórmula para o cálculo da VPL é demonstrada pela equação (14). Valores positivos indicam que o investimento é rentável e valores negativos indicam o contrário:

$$VPL = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1 + TMA)^j} - Investimento\ inicial \quad (14)$$

Na qual:

FC_j = Fluxo de caixa;

TMA = Taxa Mínima de Atratividade;

j = Período de cada fluxo de caixa.

Taxa Interna de Retorno (TIR)

O TIR permite verificar qual taxa fará com que o VPL seja igual a zero, ou seja, quando não há lucro ou prejuízo. Se for maior que a TMA, o VPL é positivo e o investimento é bom, se for menor que a TMA, o VPL é negativo e o investimento é ruim (PEREIRA, 2022).

O cálculo é feito somando a caixa de entrada do fluxo de caixa menos o investimento inicial, igualando a fórmula a zero. Sendo representado pela equação (15).

$$\sum_{i=1}^n \frac{FC_i}{(1 + TIR)^i} - Investimento\ inicial = 0 \quad (15)$$

Na qual:

FC_i = Fluxo de caixa do período;

i = Período de cada investimento;

N – Período final do investimento.

4.3.5 Comparação com renda familiar

Definidos os custos para implantação dessas estruturas e empregando dados de renda familiar mensal por classe econômica disponibilizado pelo ABEP, foi possível realizar uma comparação da possibilidade da utilização destas tecnologias. A renda empregada como base foi a informada na Tabela 1.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise da distribuição populacional e renda familiar por classe econômica e por habitante

No estudo elaborado pela ABEP (2022), baseado no Levantamento Socioeconômico (LSE) do Kantar IBOPE Média, realizado no ano de 2021, foram consideradas nove regiões metropolitanas brasileiras, qual sejam: Belo Horizonte, Brasília, Curitiba, Fortaleza, Porto Alegre, Recife, Rio de Janeiro, Salvador, São Paulo. Com base nessa fonte de consulta, a Tabela 4 mostra a distribuição percentual e estimada para cada classe no município de Belo Horizonte, considerando a população total estimada pelo IBGE no ano de 2021 de 2.530.701 pessoas.

Tabela 4 – Distribuição da população de Belo Horizonte/MG por classe econômica

Classe econômica	Distribuição população	n° pessoas
A	8,1%	204987
B1	7,6%	192333
B2	20,6%	521324
C1	22,2%	561816
C2	25,1%	635206
D - E	16,4%	415035

A partir dos dados contidos na Tabela 4, verifica-se que as classes econômicas com maior concentração de pessoas são as classes C2, C1 e B2, que somadas, equivalem a 67,9% da população de Belo Horizonte. Com uma renda média mensal familiar variando entre R\$ 1.965,87 e R\$ 5.755,23. Estes valores são baseados na Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNADC) feita pelo IBGE no ano de 2021 e, neste período, o salário-mínimo vigente no Brasil era de R\$ 1.100,00. Isso mostra a prevalência de mais da metade da população da capital mineira vivendo entre 1,8 e 5,2 salários-mínimos, enquanto menos de 10% dos moradores de Belo Horizonte possuem uma renda média de 19,4 salários mínimos.

Para o município de Belo Horizonte, o Censo Demográfico de 2010 estima um número médio de 3,1 moradores por domicílio, valor que foi considerado nas análises. Na Tabela 5 é apresentada a renda mensal *per capita* calculada considerando este quantitativo de moradores por residência e a renda familiar mensal para cada classe informada pelo estudo da ABEP. Seguindo o modelo proposto, considerou-se,

também, hipoteticamente, que todos os moradores da residência trabalham e possuem rendimentos.

Tabela 5 – Renda mensal per capita estimada de Belo Horizonte/MG base ano 2022

Classe econômica	Renda Familiar mensal	Renda mensal <i>per capita</i>
A	R\$ 21.826,74	R\$ 7.040,88
B1	R\$ 10.361,48	R\$ 3.342,41
B2	R\$ 5.755,23	R\$ 1.856,53
C1	R\$ 3.276,76	R\$ 1.057,02
C2	R\$ 1.965,87	R\$ 634,15
D - E	R\$ 900,60	R\$ 290,52

Para as estimativas apresentadas nos próximos tópicos, foram empregados os dados de renda mensal *per capita* estimados e apresentados na Tabela 5. Estes valores, associados às equações (1), (2) e (3), serviram para estimar o consumo de água e de energia e a geração de resíduos sólidos.

5.2 Avaliação de modelos para estimativa de consumo de água e energia e geração de resíduos sólidos

5.2.1 Análise do consumo de água

Com base nos dados de renda mensal *per capita* para cada classe econômica indicada na Tabela 4 e usando a Equação (1), foi possível estimar o consumo diário de água *per capita* e o consumo mensal em Belo Horizonte/MG para cada uma das classes econômicas, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 – Consumo diário de água *per capita* e volume consumido por mês para cada classe econômica em Belo Horizonte/MG

Classe econômica	Volume consumido de água <i>per capita</i> por dia (L/hab.dia)	Volume consumido por mês (m ³)
A	270,47	1.663.282,21
B1	235,41	1.358.313,60
B2	207,74	3.249.001,98
C1	181,23	3.054.613,83
C2	157,19	2.995.474,46
D - E	120,46	1.499.815,17

É possível verificar a partir dos resultados mostrados na Tabela 6 que o modelo proposto por Dias *et al.* (2014) apresentaram uma estimativa de consumo *per capita* de Belo Horizonte/MG variando de 120,46 a 270,47 L/hab.dia. Este dado possui

proximidade com os dados atuais fornecidos pela COPASA, nos quais o consumo médio é de 123,68 L/hab.dia para o município de Belo Horizonte/MG. Como há maior percentagem de pessoas presentes nas classes econômicas de menor renda, é esperado que o valor médio para todo município esteja próximo a este quantitativo.

O somatório de volume consumido por mês para todas as classes equivale a 13.820.501,26 m³, sendo o dado atual real apresentado pela concessionária de 9.389.933 m³. Assim, o dado estimado pelo modelo apresenta um desvio de 47% em relação aos dados atuais disponíveis. Quanto a este aspecto, sugere-se que os modelos propostos por Dias *et al.* (2014) deveriam sofrer atualizações periódicas para recalibração. Devido ao longo tempo desde sua concepção, esta diferença nos resultados obtidos indica que a Equação (1) necessita de modificações em sua formulação.

No estudo de 2014, o valor estimado pelo modelo foi de 9.951.055 m³/mês e o informado pela concessionária foi de 9.686.136 m³/mês, havendo um erro relativo de 2,6 %, bem inferior ao atualmente obtido.

5.2.2 Análise do consumo de energia elétrica

De modo análogo ao tópico anterior, foi possível a elaboração da Tabela 7, para qual foi empregada a Equação (2).

Tabela 7 – Exemplo de Tabela

Classe econômica	Consumo diário de energia <i>per capita</i> (kWh/hab.dia)	Consumido de energia elétrica por mês (kWh)
A	0,84	5.138.972,03
B1	6,72	38.787.800,48
B2	5,24	81.884.146,09
C1	3,52	59.363.540,70
C2	2,36	44.922.495,45
D - E	1,28	15.926.862,00

Conforme mostrado na Tabela 7, o modelo permitiu estimar um consumo diário de energia *per capita* em Belo Horizonte/MG variando de 0,84 a 6,72 kWh/hab.dia. Porém, os dados atuais disponibilizados pela CEMIG indicam um consumo médio para o município de 1,63 kwh/hab.dia. Além disso, o consumo total estimado por mês foi de 246.023.816,73 kWh, enquanto o valor médio real foi de 136.709.555,42

kwh/mês. Neste caso, o erro chegou a, aproximadamente, 80%, estando demasiadamente distante da realidade atual.

Dias *et al.* (2014) obtiveram um erro relativo de 10,2% para energia elétrica, o que foi considerado um pouco discrepante na ocasião, porém dentro dos limites operacionais esperados.

5.2.3 Análise da geração de resíduos sólidos

Por fim, a renda média *per capita* foi usada para estimar a geração de resíduos sólidos associada à Equação (3) apresentada em trabalho de Dias *et al.* (2012). A Tabela 8 mostra os resultados obtidos.

Tabela 8 – Geração diária de resíduos sólidos *per capita* e geração mensal por classe econômica em Belo Horizonte/MG

Classe econômica	Produção diária de resíduos sólidos <i>per capita</i> (kg/hab.dia)	Produção total de resíduos sólidos por mês kg
A	2,03	12.487.557,15
B1	1,73	9.991.684,11
B2	1,23	19.180.271,65
C1	0,86	14.547.886,03
C2	0,65	12.294.733,00
D - E	0,45	5.663.853,86

Conforme valores indicados na Tabela 8, a produção diária de resíduos sólidos *per capita* de Belo Horizonte/MG estimada pelo modelo variou de 0,45 kg/hab.dia para as classes “D-E” a 2,03 kg/hab.dia para a classe “A”. Conforme dados de Resíduos Domésticos disponíveis publicamente da SLU, a geração *per capita* é de 0,69 kg/hab.dia, estando dentro da faixa estimada pelo modelo. Além disso, a geração total real informada foi de 52.517.202,50 kg/mês, enquanto o modelo estimou 74.165.985,80 kg/mês, estando o erro percentual de 41%, considerado muito elevado. Tal como as demais equações avaliadas, este modelo também necessita de recalibração.

Dias *et al.* (2012) estimaram na época do estudo uma geração média *per capita* de resíduos sólidos de 0,627 kg/hab.dia em Belo Horizonte/MG. Um somatório total mensal de 42.371.110 kg/mês representava um erro de 5,2%, muito inferior ao atualmente verificado.

5.3 Pré-dimensionamento de sistemas e levantamento de custos

5.3.1 Aproveitamento de águas pluviais

5.3.1.1 Dimensionamento

Considerando as áreas totais padronizadas na Norma ABNT NBR 12721:2006 como a área de coleta de água pluvial e empregando o Método Azevedo Neto presente na ABNT NBR 15527:2007, foi possível realizar um pré-dimensionamento de reservatório para conter esta água. A Tabela 9 mostra os valores para uma residência popular e uma residência de padrão alto.

Tabela 9 – Volume de chuva aproveitável / tamanho do reservatório para uma residência popular e uma residência de padrão alto

Parâmetro	Residência Popular	Residência de padrão alto
Área de coleta (m ²)	39,56	224,82
Volume do reservatório (L)	15.734	89.418

5.3.1.2 Levantamento de custos

Inicialmente, foram contactadas empresas localizadas no município de Belo Horizonte e que pareciam prestar o serviço de implantação de sistema de aproveitamento de águas pluviais. Porém, obteve-se retorno apenas de duas que não realizavam este serviço. Desta forma, foram enviados e-mails para empresas localizadas em outros municípios, embora não tenha sido obtido retorno.

Assim, passou-se a buscar aquelas que forneciam cisternas com volume suficiente do dimensionado no item anterior. Encontrou-se uma empresa localizada no município de São Paulo e que fornecia este equipamento.

Esta fornece cisternas subterrâneas e reservatórios modulares fabricados em PRFV (Plástico reforçado com fibra de vidro) e que atendem a ABNT NBR 15527 para água de chuva, assim como a NBR 13210 para água potável. Os equipamentos podem ter de 3.800 L a 60.000 L.

Devido a este fato, foi solicitado orçamento para cisternas de 20.000 L, 40.000 L e 60.000 L, para atender aos volumes dimensionados. A Tabela 10 indica os

componentes incluídos e respectivos valores informados pela Fornecedora em abril de 2023.

Tabela 10 – Componentes e aspectos das cisternas para aproveitamento de água de chuva

Componente	Cisterna para residência popular	Cisterna para residência de alto padrão (40.000 L + 60.000 L)	
Volume	20.000 L	40.000 L	60.000 L
Diâmetro	2,30 m	2,90 m	2,90 m
Comprimento	5,80 m	7,60 m	10,80 m
Custo de aquisição	R\$ 22.360,00	R\$ 44.280,00	R\$ 66.420,00
Frete (terceirizado)	R\$ 6.135,00	R\$ 5.996,00	R\$ 7.962,00
Custo total	R\$ 28.495,00	R\$ 124.658,00	

Fonte: Proposta Fornecedor 1 (2023)

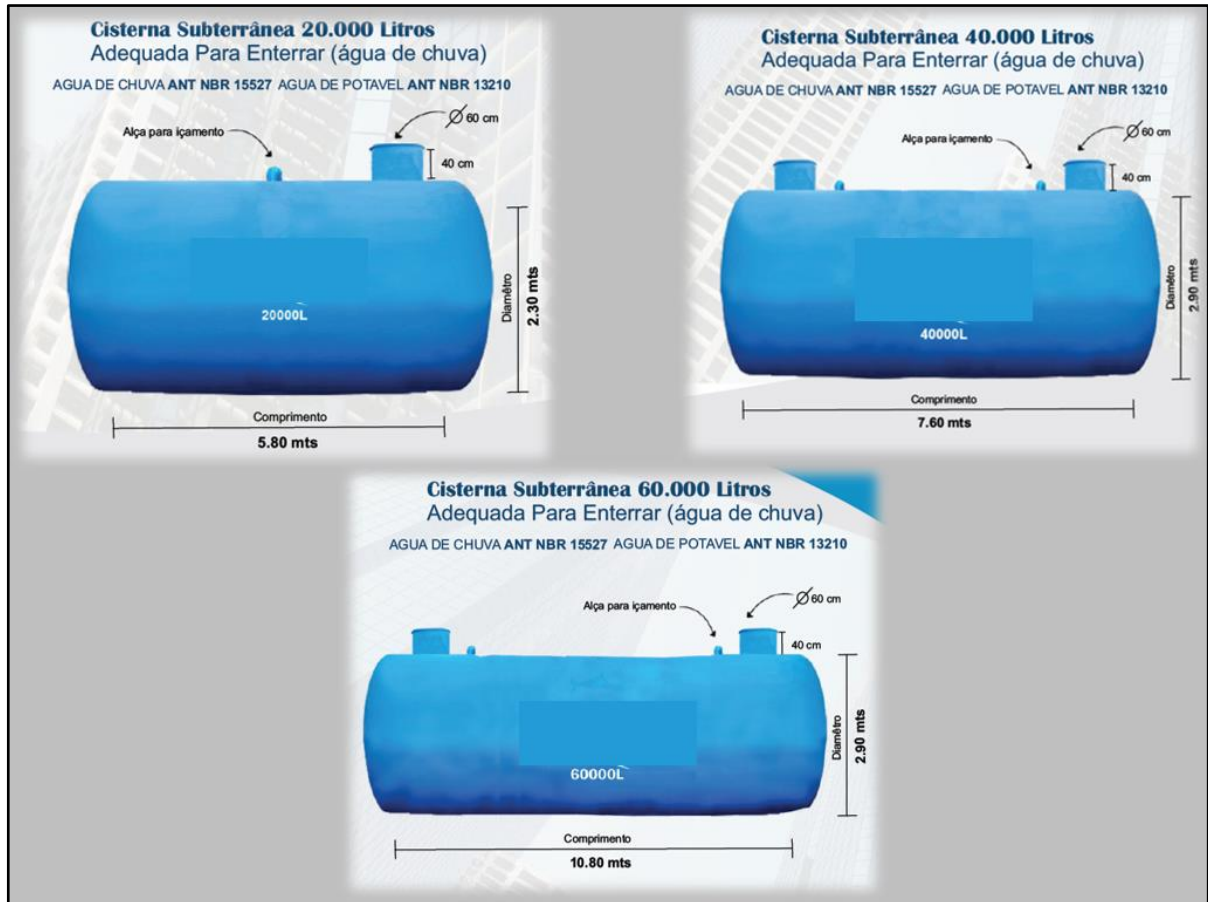
Os dados da Tabela 10 mostram que o valor pago para aquisição das cisternas aumenta de acordo com a sua capacidade. Pode-se verificar, entretanto, que o frete para a cisterna de 40 mil litros é inferior aos demais. Isto pode ter relação com o fato de que o orçamento para este equipamento foi solicitado dias após aos anteriores, o que pode ter provocado uma flutuação neste valor.

Além disso, para o atendimento à residência de alto padrão, é necessário a implantação de duas cisternas. Sendo o custo de aquisição 4 vezes superior do que o necessário para atender à casa popular. Ainda assim, a cisterna de 20.000 L possui valor considerável, muito acima do que uma família de menor renda possa arcar.

Alvim *et al.* (2021) também realizaram o levantamento de custos para implementação de tal sistema no município de Belo Horizonte. Para a aquisição de reservatório de polietileno de 15.000 L e de 5.000 L com tampa rosca, os valores obtidos na época foram, em média, de R\$ 6.267,34 e R\$ 4.991,85. Ou seja, muito inferiores aos obtidos na presente pesquisa.

A Figura 9 foi retirada do catálogo do Fornecedor 1 contactado e demonstra as medidas e aspecto das cisternas orçadas.

Figura 9- Medidas e aspecto das duas cisternas que foram orçadas pelo Fornecedor 1



Fonte: Catálogo de Produtos do Fornecedor adaptada (2023)

Segundo o Fornecedor consultado, a fabricação das cisternas demanda 30 dias úteis. A empresa realiza apenas a confecção das cisternas, sendo necessário contratar terceiros para o serviço de instalação.

O equipamento possui garantia de 5 anos restrita a defeitos de fabricação, conforme manual de garantia.

Para implementação do sistema, são ofertados os seguintes itens opcionais (Tabela 11)

Tabela 11 – Itens opcionais fornecidos pela empresa consultada

Componente	Custo
Kit bomba (bomba + filtro M150 + 2 boias sensor + flanges)	R\$ 1.350,00
Indicador de nível (estágio em led) leitura de led	R\$ 850,00
Painel de controle (abrir a torneira > liga a bomba e ao fechar a torneira > desliga a bomba)	R\$ 1.900,00
Realimentador automático	R\$ 850,00

Fonte: Proposta Fornecedor (2023)

Porém, os volumes dimensionados para os reservatórios possuem grandes dimensões. Silva *et al.* (2019), em seu estudo que realizou a comparação das diferentes metodologias de dimensionamento da norma ABNT NBR 15527:2007, verificaram que o método Azevedo Neto resultou em volumes superiores aos demais métodos de cálculo propostos. Neste mesmo estudo, verificou-se que este fato se repete quando empregado, também, o método prático inglês. Os autores acreditam que isso pode ter relação com o fato destas metodologias empregarem a precipitação anual e a área de captação e não a demanda. E, por este mesmo motivos, podem propiciar disponibilidade de água pluvial o ano todo.

Alvim *et al.* (2021) apontam que o reservatório de água de chuva é o componente mais dispendioso do sistema. Este equipamento deve ser dimensionado para atender as necessidades do usuário, assim como a disponibilidade pluviométrica local, de forma a não inviabilizar economicamente sua implementação.

Desta forma, foram, também, levantados os custos para aquisição de reservatórios de menores dimensões (Mini cisterna), conforme mostrado na Tabela 12.

Tabela 12 – Custos para aquisição de reservatórios de menores volumes

Fornecedor	Equipamento	Custo
Casológica	Kit Mini Cisterna 240L + Eco Filtro – Bombona	R\$ 347,00 (sem frete)
Casa da cisterna	Cisterna vertical modulas 1050 L com filtro e clorador	R\$ 2.472,96 (sem frete)

Fonte: Casa da cisterna (2023) e Casológica (2023).

O aspecto destes equipamentos é ilustrado pelas Figuras 10 e 11, sendo apresentado, respectivamente, o fornecido pela Casológica e pela Casa da Cisterna.

Figuras 10 e 11 – Fotografias dos reservatórios de menores volumes levantados



Fonte: Casa da cisterna (2023) e Casológica (2023).

No caso das cisternas para a casa popular e de alto padrão, o valor mais elevado refere-se ao quantitativo total de chuva incidente que seria captado pela área do telhado. Há de se considerar que a metodologia de cálculo escolhida para este trabalho, conforme citado anteriormente, apresenta superdimensionamento do sistema, assim como o fato de que, para armazenamento total da chuva captada na casa de alto padrão, deveriam ser empregadas, no mínimo, duas cisternas.

As tecnologias de menores custos para aproveitamento de águas pluviais são interessantes pois as águas de chuvas coletadas não possuem tanta aplicabilidade caso não haja um tratamento mais robusto nas mesmas, não sendo de necessidade em centros urbanos, como Belo Horizonte, onde a prestação de serviço pela COPASA costuma ser regular. Assim, a implantação de uma cisterna de tão grandes dimensões se torna algo sem necessidade, sendo a Mini Cisterna e a Cisterna vertical em módulo suficientes.

5.3.2 Sistema solar térmico

5.3.2.1 Dimensionamento

Para dimensionamento do sistema solar térmico, foram considerados dados para implementação em uma casa popular e em uma casa de alto padrão.

Tal como informado anteriormente, a casa popular analisada neste estudo é composta de dois dormitórios, sala, banheiro e cozinha. Assim, considerou-se o aquecimento do chuveiro, lavatório e da pia de cozinha.

A vazão de utilização empregada para cada um destes equipamentos foi baseada na Tabela 3 apresentada no item “Materiais e Métodos” e que representa os valores recomendados pela norma ABNT NBR 15569:2020. Foi considerada a média entre o consumo mínimo e máximo de cada um destes equipamentos, conforme apresentado na Tabela 13.

Tabela 13 – Dados dos equipamentos empregados para o pré-dimensionamento do sistema solar térmico para casa popular

Aparelho	Vazão de utilização (L/min)	Tempo de utilização (min/pessoa)	Frequência de uso	nº de moradores	Volume de água quente por aparelho (L)
Ducha de banho	9	10	1	3,1	279
Lavatório	3,9	2	3	3,1	72,54
Pia de cozinha	4,8	3	2	3,1	89,28
Volume de consumo de água quente diário (L)					440,82

Da mesma forma foi realizado com a residência de padrão alto, a Norma ABNT indica que esta conta com quatro dormitórios, sendo um suíte com banheiro e closet, outro com banheiro, banheiro social, sala de estar, sala de jantar e sala íntima, circulação e área de serviço completa e varanda. Assim, os equipamentos com água aquecida considerados foram banheira, chuveiro, 3 lavatórios, pia da cozinha e lava-louças. A Tabela 14 apresenta os valores considerados para cada um destes equipamentos.

Tabela 14 – Dados dos equipamentos empregados para o pré-dimensionamento do sistema solar térmico para residência de alto padrão

Cômodo	Aparelho	Vazão de utilização (L/min)	Tempo de utilização (min/pessoa)	Frequência de uso	nº de moradores	Volume de água quente por aparelho (L)
Suíte	Banheira	80 L	Banho	-	3,1	240
	Lavatório	3,9	2	3	3,1	72,54
Banheiro	Ducha de banho	9	10	1	3,1	279
	Lavatório	3,9	2	3	3,1	72,54
Banheiro social	Lavatório	3,9	2	3	3,1	72,54

Cozinha	Lava louças	20 L	Lavagem	-	-	20
	Pia de cozinha	4,8	3	2	3,1	89,28
Volume de consumo de água quente diário (L)						845,90

Empregando os consumos diários calculados, foi possível realizar o dimensionamento do Volume dos Sistemas de armazenamento e as energias úteis referentes. Para isto, considerou-se a temperatura de armazenamento como 50 °C, tal qual exemplo apresentado na referida norma e a temperatura ambiente referente ao município de Belo Horizonte de 22,5 °C. Para a casa popular, o volume obtido foi de 312,58 litros e a energia útil de 299,43 kWh/mês, enquanto para a casa de alto padrão estes valores foram de 599,82 L e 574,57 kWh/mês.

Por se tratar de uma residência modelo, os dados de Inclinação do coletor em relação ao plano horizontal e o ângulo de orientação dos coletores solares em relação ao norte geográfico empregados para cálculo do “Fator de Correção para Inclinação e Orientação do coletor solar”, foram baseados nos valores empregados no exemplo da NBR 15569:2020, sendo FC_{instal} equivalente a 1,0482.

Por fim, para o dimensionamento das áreas coletoras dos coletores solares para ambas residências, foi empregada a PMEE utilizado pela referida norma, de 78,5 kW/(mês.m²), resultando em uma área coletora de 3,4 m² 6,5 m². A Tabela 15 sintetiza os principais dados dimensionados para este sistema.

Tabela 15 – Dados do pré-dimensionamento do sistema solar térmico para ambas casas analisadas

Variável	Casa popular	Casa de alto padrão
Volume de consumo de água quente diário	440,82 L/dia	845,90 L/dia
Volume do sistema de armazenamento	312,58 L	599,82 L
Energia útil	299,43 kWh/mês	574,57 kWh/mês
Fator de correção para inclinação e orientação do coletor solar	1,0482	1,0482
Área coletora	3,4 m ²	6,5 m ²

5.3.2.2 Levantamento de custos

Para o levantamento dos custos médios de implantação de Sistema Solar Térmico no município de Belo Horizonte, foram contactadas 16 empresas que prestam este

serviço e que se encontram localizadas na cidade. Apenas uma das empresas retornou o contato em março de 2023. Sendo apresentadas as seguintes informações (Tabela 16) para os consumos de água quente diário de 440,82 L/dia e de 845,90 L/dia.

Tabela 16 – Dados do orçamento do Fornecedor consultado

Variável	Casa popular	Casa de alto padrão
Volume de consumo de água quente residencial diário informado para a empresa	440,82 L/dia	845,90 L/dia
Volume do sistema de armazenamento recomendado	600 L	1000 L
Tipo	Aquecedor convencional de placas	
Custo do equipamento	R\$ 5450,00	R\$ 9000,00
Mão-de-obra para implantação	R\$ 600	

Fonte: Proposta Fornecedor (2023)

O equipamento empregado por esta empresa é da fornecedora Acquatemper, sendo disponibilizados modelos convencional de placas e a vácuo de tubos. Os custos dos aquecedores solares variam entre R\$ 750,00 a R\$ 7.900,00, sendo as capacidades dos aquecedores a vácuo disponibilizadas para os consumidores são de 180 L, 200 L, 240 L, 270 L, 350 L e 400 L. Em relação aos coletores, existem nas dimensões 1,0 m X 1,0 m, 1,5 m X 1,0 m, 1,7 m X 1,0 m e 2,0 m X 1,0 m.

A mão-de-obra para implantação é de, no mínimo, R\$ 600,00, podendo aumentar dependendo do tipo de instalação a ser realizada. Além disso, os custos de manutenção são muito variáveis, não sendo possível informar um valor médio. O valor não inclui o frete.

É possível verificar que o volume do sistema de armazenamento recomendado foi superior ao necessário para atender ao dimensionado (312,58 L). Para o consumo solicitado, poderia ter sido indicado um sistema de aquecedor a vácuo com volume de 400 L, porém o Fornecedor indicou o aquecedor convencional de placas com capacidade de 600 L.

Além disso, mesmo sendo uma tecnologia com grande difusão, o custo para implementação deste tipo de tecnologia possui um custo elevado, inclusive para atender uma família de menor renda e que viva em uma casa popular.

Magro (2016) obteve valores para implementação do Sistema Solar Térmico bem superiores para uma residência estudantil em Porto Alegre. A empresa consultada informou o valor de R\$ 108.279,00 para aquisição do mesmo. Porém, estavam inclusos três reservatórios (2 de 5000 L e 1 de 1500 L), coletores e um aquecedor a gás, assim como a instalação de ambos. O equipamento com maior custo foi o reservatório de 5000 L e houve necessidade de implementação de um aquecedor a gás para servir como energia auxiliar.

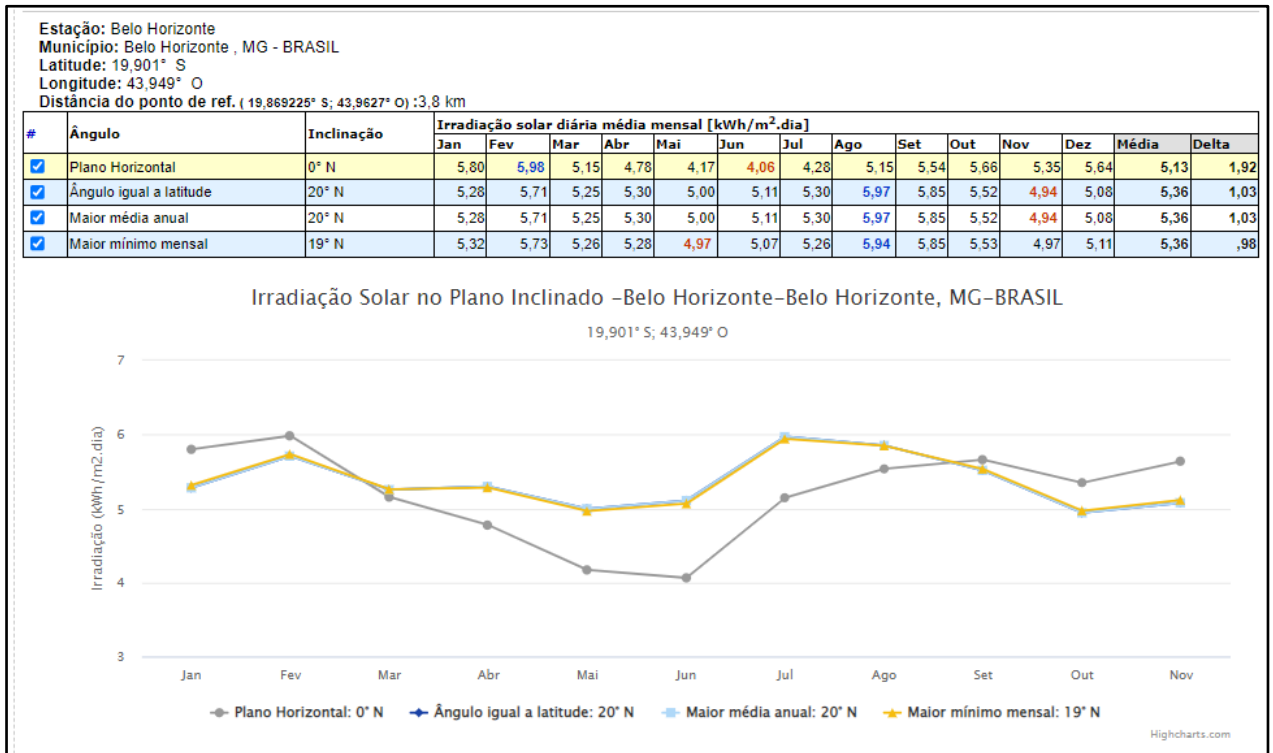
Uma alternativa a estes valores é a construção de aquecedores solares de baixo custo. Na internet é possível encontrar manuais para elaboração de tais equipamentos e empregando diferentes materiais como garrafas PET, embalagens longa-vida e canos de PVC. Medida que, além de providenciar o aquecimento da água a ser empregada na moradia, propicia, também, a reutilização de materiais que seriam descartados.

5.3.3 Sistema solar fotovoltaico

5.3.3.1 Dimensionamento

Para cálculo da potência de pico do sistema, foi necessária a definição da irradiância da cidade de Belo Horizonte/MG por meio do programa SunData v 3.0 presente no site do CRESESB, como mostrado na Figura 12. A Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) localizada neste município foi empregada para obtenção das coordenadas geográficas para obtenção deste parâmetro (19°52'9.21"S, 43°57'45.72"O).

Figura 12- Irradiância para cidade de Belo Horizonte



Fonte: CRESESB (2023)

Os módulos fotovoltaicos devem ficar voltados para o norte geográfico e com a inclinação mais próxima à latitude do local, isso propicia menor perda energética e maior eficiência do equipamento (MAIMONI *et al.*, 2020). Como a latitude local é de 19°, a irradiância solar diária média é de 5,36 kWh/m².dia, de modo que o HSP também será de 5,36 h/dia.

Empregando o valor de consumo médio para o município fornecido pela concessionária local (151 kWh/mês) e demais parâmetros já apresentados, foi possível calcular uma potência a instalar de 1,25 kWp.

Ao mesmo tempo, em contato com as empresas para orçamento de um Sistema Solar Fotovoltaico que considere este valor de energia estimada mensal, foi informado que o consumo de 151 kWh/mês não é vantajoso para implementação desta estrutura conectadas à rede (*On-Grid*) e sim, acima de 300 kWh/mês.

Desse modo, utilizando os dados dos módulos fotovoltaicos apresentados por estas empresas de potência nominal de 550 W e área do módulo (2,58 m²), foi possível a realização do seguinte dimensionamento (Tabela 17), considerando o consumo médio

residencial de energia elétrica para o município de Belo Horizonte e o mínimo indicado por estas empresas.

Tabela 17 –Pré-dimensionamento de sistema solar fotovoltaico para o consumo médio residencial de energia elétrica em Belo Horizonte e o valor mínimo recomendado por empresas de instalação de tais sistemas

Variável	Consumo médio residencial de energia elétrica em BH	Sistema mínimo recomendado por empresas prestadoras deste serviço
Consumo energético mensal	151 kWh/mês	300 kWh/mês
Potência a instalar	1,25 kWp	2,49 kWp
Nº de módulos	2	5
Área total	6 m ²	12 m ²

5.3.3.2 Levantamento de custos

Para execução desta pesquisa, foram contactadas 22 empresas que trabalham realizando implantação de Sistema Solar Fotovoltaico e que se encontram no município em estudo. Destas, obteve-se retorno de três empresas.

Tal qual apresentado nos modelos de e-mail apresentados no Apêndice B, foi solicitado orçamento para um consumo energético mensal de 151 kWh/mês, ou seja, o suficiente para abastecer totalmente uma residência com consumo médio de Belo Horizonte. Entretanto, todos os fornecedores informaram que a instalação de um equipamento para suprir apenas esta demanda não seria viável financeiramente e que o recomendado seria uma infraestrutura para atender, no mínimo, um consumo de 300 kwh/mês. Além disso, foi informado que este valor acima de 300 kwh/mês é vantajoso quando se trata de clientes com sistemas fotovoltaicos On-Grid, pois a taxa mínima da concessionária é de 50 kWh/mês mais iluminação pública, em torno de R\$ 70,00 por mês.

O Fornecedor 1 possui garantia de 10 anos para os módulos fotovoltaicos e estruturas de fixação, 7 anos para os inversores e 1 ano para os serviços. Na Tabela 18 são apresentados os dados de composição do projeto fornecido por esta empresa em orçamento recebido em fevereiro de 2023.

Tabela 18 – Equipamentos inclusos no orçamento do Fornecedor 1

Componente	Valores
Módulo fotovoltaico RISEN 550W	9 unidades
Inversor solar 4KTLM-G3 - 220V	1 unidades

STRING BOX	Incluso
Cabo solar 6 mm < Preto	Incluso
Cabo solar 6 mm < Vermelho	Incluso
Conector MC4 Multi-contact UR PV-KBT4/6II-UR ACOPLADOR FEMEA	Incluso
Conector MC4 Multi-contact UR PV-KST4/6II-UR ACOPLADOR MACHO	Incluso
Junção para perfil de alumínio	Incluso
Estrutura de alumínio adequado ao telhado	Incluso
Material elétrico	Incluso
Serviços de instalação do sistema	Incluso
Projeto solar fotovoltaico	Incluso
ART de projeto e execução	Incluso
Acompanhamento junto à distribuidora	Incluso
Monitoramento do sistema via WEB	Incluso

Fonte: Proposta Fornecedor 1 (2023)

Na Tabela 19, são apresentados os custos considerados neste orçamento.

Tabela 19 – Custos considerados nos orçamentos do Fornecedor 1

Produtos/Serviços/Impostos	Quantidade	Custo Total
Material fotovoltaico	-	R\$14.030,72
Viagem	1	R\$ 300,00
Equipe de montagem estrutural (mão de obra terceirizada)	9	R\$ 1.350,00
Eletricista (mão de obra terceirizada)	1	R\$ 250,00
Taxa de homologação	9	R\$ 300,00
Materiais e acessórios	9	R\$ 1.080,00
Outros custos não previstos	1	R\$ 250,00
Provento Fornecedor 1	-	R\$ 3.687,75
Custo total	-	R\$ 21.248,47

Fonte: Proposta Fornecedor 1 (2023)

O Fornecedor 2 enviou orçamento, em março de 2023, para o consumo energético mensal solicitado (151 kwh) e o mínimo que recomendam (500 kwh).

Segundo esta empresa, o módulo fotovoltaico empregado possui 25 ano de garantia de geração energética, mantendo até 83% de seu rendimento até este período. Fornecem 12 anos de garantia contra defeitos dos módulos e 10 anos para os inversores. Além disso, o final da garantia de geração não significa a durabilidade do sistema, que ultrapassa os 30 anos de duração.

A Tabela 20 apresenta as principais informações de cada uma das propostas enviadas por esta empresa.

Tabela 20 – Quadro comparativo entre as propostas 1 e 2 do Fornecedor 2

Variável	Proposta 1 (150 kwh)	Proposta 2 (500 kWh)
Potência a instalar	3,24 kWp	3,78 kWp
Produção energética anual	5.221 kWh	6.092 kWh
Nº de módulos (540 W cada)	6	7
Área total ocupada na instalação	15,48 m ²	18,06 m ²

Custo total	R\$ 22.180,47	R\$ 25.198,54
-------------	---------------	---------------

Fonte: Propostas Fornecedor 2 (2023)

Na Tabela 21 são apresentados os dados de composição do projeto fornecido por esta empresa.

Tabela 21 – Equipamentos inclusos no orçamento do Fornecedor 2

Componente	Valores
Módulo fotovoltaico SENGI SOLAR SV1S72 - 540W	6/7 unidades
Inversor ilumisol sofar 3300TL-G3	1 unidades
STRING BOX	Incluso
Cabo solar 6 mm 1,8KV < Preto	Incluso
Cabo solar 6 mm 1,8KV < Vermelho	Incluso
Conector MC4 Multi-contact UR PV-KBT4/6II-UR ACOPLADOR FEMEA	Incluso
Conector MC4 Multi-contact UR PV-KST4/6II-UR ACOPLADOR MACHO	Incluso
Junção para perfil de alumínio	Incluso
Estrutura de alumínio adequado para fixação dos painéis	Incluso
Material elétrico	Incluso
Serviços de instalação do sistema	Incluso
Projeto solar fotovoltaico	Incluso
ART de projeto e execução	Incluso
Acompanhamento junto à distribuidora	Incluso
Monitoramento do sistema via WEB	Incluso

Fonte: Propostas Fornecedor 2 (2023)

O Fornecedor 3 enviou sua proposta em março de 2023. O modelo dos módulos fotovoltaicos instalados são da marca Sunova Jinko Kript e o inversor é Deye. O número de módulos necessários para suprir a demanda mínima fornecida por esta empresa são 4, os quais devem representar um peso de, aproximadamente, 11,52 kg/m².

Os módulos fotovoltaicos instalados por esta empresa possuem 12 anos de garantia contra defeitos de fabricação e eventuais danos relacionados à fabricação dos módulos e estruturas de fixação. Assim como o Fornecedor 1, garantem uma perda de eficiência máxima de 20% dos módulos até os 25 anos de utilização. Quando aos inversores, o período de garantia é de 12 anos, podendo ser estendido a 25 anos.

A Tabela 22 resume as respostas obtidas. Cumpre esclarecer que o Fornecedor 2 enviou orçamento para o consumo energético solicitado (151 kwh/mês) e o com menor custo-benefício (500 kwh/mês).

Tabela 22 – Quadro comparativo de todos os orçamentos para Sistema Solar Fotovoltaico

Variável	Fornecedor 1	Fornecedor 2 (proposta 1)	Fornecedor 2 (proposta 2)	Fornecedor 3
Potência do módulo	550 W	540 W	540W	550 W
Produção média mensal do sistema	500 kwh	435 kwh*	500 kwh	260 kwh
Nº de módulos	9	6	7	4
Área necessária para instalação	23,22 m ²	15,48 m ²	18,06 m ²	10,00 m ²
Potência total do sistema	4,95 kWp	3,24 kWp	3,78 kWp	2,20 kWp
Investimento	R\$ 21.248,47	R\$ 22.180,47	R\$ 25.198,54	R\$ 11.988,00
Prazo de instalação	90 dias	120 dias	120 dias	45 dias

Obs.: * O fornecedor informou que, por não utilizar micro inversores, a proposta de 150 kwh gera mais energia do que o demandado (435 kwh).

Em relação ao Sistema Solar Fotovoltaico, as empresas consultadas recomendaram um sistema para atender um consumo mínimo de 300 kWh/mês, porém, a configuração dos sistemas que enviaram o orçamento possibilita atender ao consumo de 500 kWh/mês. Esta situação, possivelmente, levará a um prejuízo ao consumidor, visto que, mesmo com o crédito quando é gerada mais energia elétrica, estes possuem um prazo de validade. Desta forma, não é o ideal o consumidor superdimensionar os sistemas, a não ser que atenda também a outros domicílios com a mesma titularidade, conforme é permitido, pela regulamentação vigente.

Em relação ao número de módulos e à área total necessária que as empresas recomendam e ao calculado no pré-dimensionamento, pode-se dizer que houve grande diferença. Como não há uma norma regulamentada no país para o dimensionamento de tais sistemas, não é possível saber as metodologias implementadas pelas empresas, o que pode ter ocasionado esta diferença nos dados.

Gheiner *et al.* (2020) avaliaram, por meio da simulação de Monte Carlo, a viabilidade econômico-financeira dos sistemas de energia elétrica fotovoltaica em residências das 27 capitais brasileiras para o ano de 2015. Foram considerados os menores preços praticados no mercado como investimento inicial. Os menores preços encontrados para sistemas de 1,5 kWp, 5 kWp e 10 kWp foram, respectivamente, R\$ 14.295, R\$ 39.550 e R\$ 70.800. Comparativamente, a potência de 5 kWp assemelha-se aos sistemas analisados no presente estudo. É possível perceber, assim, que houve uma redução de custos deste o período de 2015 até os dias atuais.

Neste estudo, o pesquisador observou, também, que na ocasião, Belo Horizonte encontrava-se entre as capitais com os melhores indicadores de retornos para ambas potências analisadas. Segundo o trabalho, locais onde a tarifa praticada pela concessionária é maior, possuem retorno de investimento mais alto, sendo este fator mais relevante do que a incidência solar. Assim como a alíquota de ICMS cobrada pelo governo estadual de Minas Gerais ser a maior para as menores faixas de consumo, resultando no maior preço final de eletricidade do país até 150 kWh consumidos por mês neste período.

Enquanto isso, Maimoni *et al.* (2020) avaliaram a implementação de dois sistemas fotovoltaicos em residência com consumo médio mensal de 244,67 kWh/mês no município de Sobrália/MG: um *on grid* e outro empregando sistema híbrido (fotovoltaico e térmico). A utilização do sistema híbrido possui relevante interesse visto que chuveiros elétricos podem representar 25% do total de energia consumida nas residências brasileiras, assim, um Sistema de Aquecimento Solar implica na redução da demanda de energia elétrica na residência. O custo total obtido para implementação do sistema 1 foi de R\$ 11.000,00 e para o sistema 2 foi de 10.050. Estes valores foram próximos ao sistema orçado nesta pesquisa e com Produção média mensal do sistema semelhante (260 kwh), em que obteve-se R\$ 11.988,00.

5.3.4 Telhado verde

5.3.4.1 Levantamento de custos

Por não haver nenhuma norma técnica ou documento específico que oriente o dimensionamento de telhados verdes e substrato, não foi realizado o pré-dimensionamento deste. Além disso, não foi verificada a presença de empresas que prestam este serviço na região metropolitana de Belo Horizonte. Desta forma, foram contactadas empresas de São Paulo/SP.

Foram contactadas 3 empresas, destas, 2 responderam ao contato por e-mail. Solicitou-se análise para residência com telhado de 39,56 m² e outra com telhado de 224,82 m² localizadas no município de Belo Horizonte, tal como apresentado no Apêndice B.

A Fornecedora 1 informou que fornecem apenas o material para implantação do telhado verde, sendo necessária contratação de mão-de-obra para sua execução. Assim como deve ser adquirido o substrato e a vegetação diretamente na região.

Esta empresa disse, também, que o sistema mais vendido possui custo em torno de R\$ 180,00 por metro quadrado. O orçamento foi recebido em fevereiro de 2023.

Quanto à Fornecedora 2, informou possui mais de 100 tipos de soluções para telhados verdes disponíveis para aquisição vindo diretamente da Alemanha. O responsável comentou que, devido à ausência de normas técnicas, cada empresa possui diferentes soluções e garantias de durabilidade. A empresa em questão disponibiliza 10 anos de garantia e com prazo de validade igual à vida útil do edifício.

Um levantamento genérico pode considerar o valor de R\$ 200,00 a R\$ 300,00 reais por metro quadrado. A variação no valor dependerá da inclinação da laje, altura da platibanda, o uso que será dado à área, se haverá instalação de algum outro equipamento que irá perfurar a laje, como antenas, painéis solares, dentre outros. Assim, para orçamento mais completo, foi informada inclinação nula, platibanda de 80 cm e sem acesso ou outros equipamentos. O Fornecedor 2 destacou:

- “É importante que a impermeabilização escolhida tenha proteção anti-raiz;
- É importante que a capacidade estrutural da área a receber o sistema seja conhecida.
- A proposta anexa contempla as medidas de área informadas considerando uma cobertura de inclinação mínima.
- Incluímos o preço de 1 caixa de inspeção. As caixas de inspeção possuem a função de separar os drenos presentes na cobertura, do sistema de telhado verde. Como o próprio nome diz, servem para inspecionar os drenos (para checar periodicamente se a drenagem está funcionando corretamente). Deve-se considerar 1 caixa de inspeção, para cada dreno presente nas coberturas.
- Com relação a drenagem, o único pré-requisito é que a drenagem seja eficiente. Ou seja, não exista qualquer acúmulo de água em toda superfície, em todas as áreas previstas para receber o sistema de telhado verde. Devendo sempre seguir as respectivas Normas.

- É importante que também sejam consideradas as cargas de eventuais manutenções nos telhados verdes, Assim como a acessibilidade para a correta manutenção. Respeitando as respectivas Normas.”

A empresa também terceiriza os serviços de mão-de-obra, fornecimento de substrato, vegetação e sistema de irrigação.

A Tabela 23 resume os orçamentos recebidos pela Fornecedora 2, em fevereiro de 2023, com os valores por componente.

Tabela 23 – Quadro comparativo das propostas enviadas pelo Fornecedor 2

Componente	Proposta 1 (39,56 m²)	Proposta 2 (224,82 m²)
Elementos de drenagem	R\$ 3.949,88	R\$ 20.647,10
Manta	R\$ 2.636,50	R\$ 14.764,40
Filtro	R\$ 1.635,50	R\$ 9.158,80
Acessórios (caixa de inspeção)	R\$ 932,30	R\$ 932,30
Custo total	R\$ 9.154,18	R\$ 45.502,60

Fonte: Propostas Fornecedor 2 (2023)

Já, na Tabela 24 são apresentados os valores para implantação de telhado verde para os dois tipos de residência obtidos das duas fornecedoras.

Tabela 24 – Quadro comparativo de todos os orçamentos para Telhados Verdes

Componente	Fornecedor 1		Fornecedor 2	
	Proposta 1 (39,56 m²)	Proposta 2 (224,82 m²)	Proposta 1 (39,56 m²)	Proposta 2 (224,82 m²)
Custo total	R\$ 7.120,80	R\$ 40.467,60	R\$ 9.154,18	R\$ 45.502,60

Estudo de 2017 realizado no Brasil, verificou que os custos médios para implantação de telhado verde varia entre R\$ 190 a R\$ 260 por metro² a ser implantado, incluindo a mão de obra e o material (FRANÇA, 2017). Comparativamente ao trabalho atual, ambas fornecedoras contactadas apresentaram valores que não incluem o serviço e material, sendo informado uma média de R\$ 180/m² pela Fornecedor 1 e R\$ 200/m² a R\$ 300/m² pela Fornecedor 2. Possivelmente, os custos de aquisição completo da Fornecedor 1 possa chegar na faixa levantada por tal estudo.

5.3.5 Gestão de resíduos sólidos orgânicos

5.3.5.1 Levantamento de custos

Assim como os telhados verdes, não existe uma forma de pré-dimensionamento dos sistemas de gestão de resíduos sólidos domiciliares. Desta forma, para a execução deste trabalho, os custos para a implantação de tais sistemas foi obtido por meio de sites de empresas que comercializam estes sistemas prontos.

Por se tratar de valores que estão disponíveis na internet, é possível a indicação das fontes dos valores. Foram consultadas três diferentes soluções para gestão de resíduos sólidos orgânicos. Os valores são referentes ao mês de abril de 2023.

A primeira delas é a composteira doméstica com minhocas. Este equipamento pode ser adquirido em diversos estabelecimentos. A consulta realizada nesta pesquisa foi na empresa “Minhocas Belo Horizonte” que fornece diversos componentes para a realização de compostagem.

Para atendimento a uma moradia com 3,1 habitantes, a composteira indicada é a de 105 litros, que atende até 4 pessoas. Depois de montada, sua altura total é de 93 cm. Ela é composta por:

- 2 caixas digestoras (35 L cada);
- 1 caixa coletora (35 L);
- 3 tampas;
- 1 torneira para retirada do líquido percolado;
- 300 unidades de minhocas Vermelhas Californianas com cama de minhocas;
- 1 embalagem de serragem;

A Figura 13 indica os componentes desta composteira, que possui o custo de aquisição de R\$ 297,00, frete não incluso.

Figura 13- Imagem ilustrativa da composteira doméstica com minhocas



Fonte: Minhocas Belo Horizonte (2023)

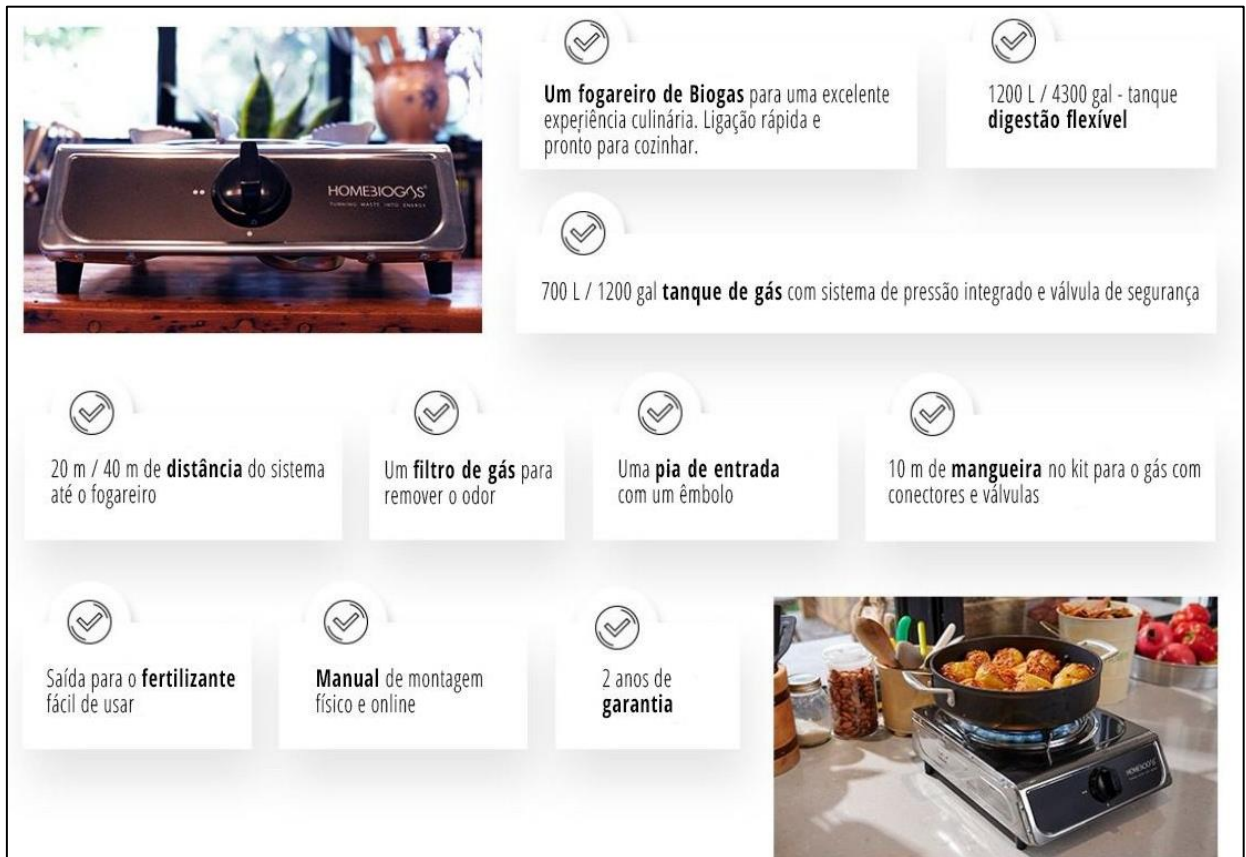
A segunda solução para gestão de resíduos sólidos encontrada é denominada de Homebiogas distribuída pela Bio Movement. Este equipamento se trata de um biodigestor que, ao tratar o resíduo orgânico, produz gás que pode ser empregado no fogão para cozimento de alimentos.

Para a ocorrência do processo de biodigestão do resíduo, é necessária incidência de luz solar, devendo o equipamento ser implantado em local que receba bastante calor. Sua instalação não depende de serviço técnico profissional, sendo necessário ativação com esterco de animais ruminantes que possuem bactérias metanogênicas responsáveis pelo processo.

Os resíduos orgânicos são inseridos em um bocal, depois da digestão, o gás metano gerado é encaminhado para o tanque de gás onde fica armazenado. Além disso, há geração de chorume que pode ser empregado em hortas domésticas.

São comercializados equipamentos para atender diferentes situações. Para o caso em estudo, o Homebiogas 2.0 se adequa melhor, por atender a geração de 4 kg de resíduos orgânicos por dia. Conforme dados fornecidos pela SLU, a geração diária para uma residência de 3,1 habitantes deve ser de 2,14 kg. A Figura 14 disponibilizada pelo fornecedor mostra alguns aspectos desta tecnologia.

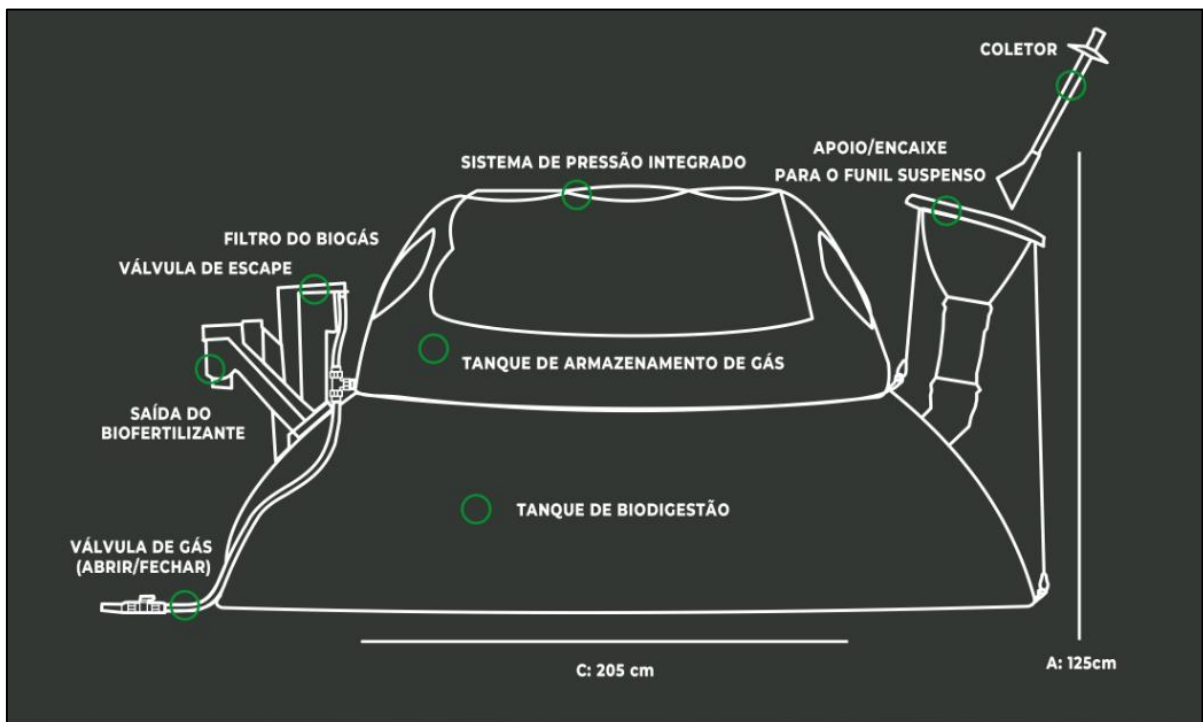
Figura 14- Aspectos do Homebiogas



Fonte: Bio Movement - Homebiogas (2023)

O gás gerado por este equipamento é suficiente para queima no fogão por 2 a 3 horas diárias. Assim como é gerado 4 Litros de chorume que pode ser utilizado como biofertilizante para hortas e plantações. A área total ocupada é de 6 m² e o equipamento acompanha fogareiro de uma boca. A Figura 15 apresenta desenho esquemático do equipamento.

Figura 15- Desenho esquemático do Homebiogas



Fonte: Bio Movement - Homebiogas (2023)

Segundo o fornecedor, este equipamento, diferente de outras tecnologias de gestão de resíduos orgânicos, pode processar carne, peixe, óleos e outras gorduras. Também não há quantidade mínima para alimentação do sistema. É necessário a inserção de uma quantidade de água. Sua vida útil estimada é de 15 anos, havendo garantia de 2 anos.

As manutenções necessárias envolvem: a troca de filtro de gás uma vez ao ano, esta estrutura remove o sulfato de hidrogênio do biogás; a remoção do lodo acumulado no fundo do tanque digestor a cada 3/5 anos (este lodo pode ser empregado no jardim); a substituição da pastilha de cloro quando esta se dissolver totalmente, este item propicia a desinfecção de bactérias restantes no líquido percolado; e apertar as abraçadeiras e drenar uma vez na semana.

Por fim, a terceira solução disponível no município de Belo Horizonte é a Gestão de Resíduos Orgânicos por Assinatura realizado pela empresa Massalas. Segundo esta organização, por meio do serviço prestado, buscam fomentar a economia circular e gerar impactos socioambientais positivos na cidade.

Criada em 2016, esta empresa realizava a coleta dos resíduos nas residências, o transporte e a compostagem, sendo o adubo levado para hortas urbanas e projetos sociais. Porém, desde o início do ano de 2022, o Massalas não comercializa planos para coleta residencial porta-a-porta, apenas em Ecopontos, em que o morador leva e descarta seus resíduos em pontos de coleta parceiros.

O único plano disponível atualmente possui o custo de R\$ 49,90 por mês. Nele, é recebido um balde de 12 L (Figura 16) e uma sacola compostável na entrega do Kit de separação. Este plano garante também cupom de desconto para aquisição de cesta de orgânicos com a Casa Horta. Caso a geração de resíduos sólidos seja superior, é possível adicionar mais um balde na assinatura, com o custo de R\$ 29,90.

Figura 16- Balde de 12 L para coleta de resíduos orgânicos



Fonte: Massalas (2023)

No site da empresa, é possível encontrar mapa com a localização de diversos Ecopontos no município (pontos verdes na Figura 17).

Figura 17- Localização dos Ecopontos Massalas



Fonte: Massalas (2023)

Assim, a Tabela 25 apresenta em resumo os principais aspectos e custos de cada uma destas tecnologias de manejo de resíduos sólidos orgânicos domésticos.

Tabela 25 – Quadro comparativo dos custos para implantação das soluções em gestão de resíduos sólidos orgânicos

Composteira doméstica	Homebiogas	Gestão de Resíduos Orgânicos por Assinatura
R\$ 297,00	R\$ 10.400,00	R\$ 49,90 por mês (+ R\$ 29,90 se gerar mais que 12 L de resíduos)
Frete não incluso	Taxa de entrega fixa de R\$ 100,00	Não há taxa de entrega

A compostagem doméstica pode ser realizada com diversos materiais, até mesmo empregando a reutilização de vasilhames e objetos que os moradores possuem em casa. Freitas *et al.* (2017) demonstraram a utilização de cestos de plásticos perfurados que são empregados para armazenamento de roupas envolto em uma bag de 135 L. Sua escolha se deu pelo fato de ser um produto de baixo custo e de fácil acesso à população, podendo ser comprada por 13 a 25 reais. Vich *et al.* (2017) utilizaram um balde recipiente plástico de 10 Litros e de baixo custo (R\$ 15) perfurados nas laterais para a realização deste processo.

5.4 Análise da viabilidade econômica

5.4.1 Aproveitamento de águas pluviais

A Tabela 26 apresenta o fluxo de caixa e análise do *payback* para a implementação de cisternas de água de chuva para uma casa popular e uma casa de alto padrão. No ano 0, foram inseridos os custos informados pela Fornecedora deste serviço, qual seja R\$ 28.495,00 e R\$ 124.658,00 para a casa popular e de alto padrão, respectivamente.

Nos anos posteriores, foram informados os valores economizados a partir da implementação do sistema. Neste caso, a redução do consumo de água (11,5 m³/mês) para uma residência contendo 3,1 habitantes associada aos custos de água de R\$ 12,124/m³ para uma residência com custo convencional e 6,061 R\$/m³ para residência com custo social. Para este caso, considerou-se que estes custos refiram-se à casa de alto padrão e à casa de social, respectivamente

Tabela 26 – Análise do *payback* para implementação de cisternas de água da chuva para uma casa popular e uma casa de alto padrão

Ano	Custo social / Casa popular		Custo convencional / Casa de alto padrão	
	Fluxo de caixa	Payback	Fluxo de caixa	Payback
0	-R\$ 28.495,00		-R\$ 124.658,00	
1	R\$ 836,42	-R\$ 27.658,58	R\$ 1.673,11	-R\$ 122.984,89
2	R\$ 836,42	-R\$ 26.822,16	R\$ 1.673,11	-R\$ 121.311,78
3	R\$ 836,42	-R\$ 25.985,75	R\$ 1.673,11	-R\$ 119.638,66
4	R\$ 836,42	-R\$ 25.149,33	R\$ 1.673,11	-R\$ 117.965,55
5	R\$ 836,42	-R\$ 24.312,91	R\$ 1.673,11	-R\$ 116.292,44
6	R\$ 836,42	-R\$ 23.476,49	R\$ 1.673,11	-R\$ 114.619,33
7	R\$ 836,42	-R\$ 22.640,07	R\$ 1.673,11	-R\$ 112.946,22
8	R\$ 836,42	-R\$ 21.803,66	R\$ 1.673,11	-R\$ 111.273,10
9	R\$ 836,42	-R\$ 20.967,24	R\$ 1.673,11	-R\$ 109.599,99
10	R\$ 836,42	-R\$ 20.130,82	R\$ 1.673,11	-R\$ 107.926,88
11	R\$ 836,42	-R\$ 19.294,40	R\$ 1.673,11	-R\$ 106.253,77
12	R\$ 836,42	-R\$ 18.457,98	R\$ 1.673,11	-R\$ 104.580,66
13	R\$ 836,42	-R\$ 17.621,57	R\$ 1.673,11	-R\$ 102.907,54
14	R\$ 836,42	-R\$ 16.785,15	R\$ 1.673,11	-R\$ 101.234,43
15	R\$ 836,42	-R\$ 15.948,73	R\$ 1.673,11	-R\$ 99.561,32
16	R\$ 836,42	-R\$ 15.112,31	R\$ 1.673,11	-R\$ 97.888,21
17	R\$ 836,42	-R\$ 14.275,89	R\$ 1.673,11	-R\$ 96.215,10
18	R\$ 836,42	-R\$ 13.439,48	R\$ 1.673,11	-R\$ 94.541,98
19	R\$ 836,42	-R\$ 12.603,06	R\$ 1.673,11	-R\$ 92.868,87
20	R\$ 836,42	-R\$ 11.766,64	R\$ 1.673,11	-R\$ 91.195,76
21	R\$ 836,42	-R\$ 10.930,22	R\$ 1.673,11	-R\$ 89.522,65
22	R\$ 836,42	-R\$ 10.093,80	R\$ 1.673,11	-R\$ 87.849,54
23	R\$ 836,42	-R\$ 9.257,39	R\$ 1.673,11	-R\$ 86.176,42
24	R\$ 836,42	-R\$ 8.420,97	R\$ 1.673,11	-R\$ 84.503,31
25	R\$ 836,42	-R\$ 7.584,55	R\$ 1.673,11	-R\$ 82.830,20

A partir da Tabela 26, é possível verificar que a implementação das cisternas representa um custo elevado quando analisada como um investimento econômico. Nos 25 anos de economia após a aquisição do sistema, não foi verificada condição de *payback*, o que indica um período muito longo.

Somente o *payback* não é suficiente para a aceitação de um projeto, pois não leva em consideração o valor do dinheiro no decorrer do tempo. Desta forma, a necessidade do cálculo do VPL e da TIR (SANTOS *et al.*, 2014).

A VPL calculada foi negativa para ambas residências (-R\$ 17.973,33 para a casa popular e -R\$ 103.611,19 para a casa de alto padrão), assim como a TIR no período avaliado (-2% e -7%, respectivamente). Este fato, associado ao *payback* avaliado, faz com que não seja aconselhável a implementação do projeto em questão.

Desta forma, realizou-se, também, a análise de viabilidade econômica para a implementação dos reservatórios de menores dimensões.

A Tabela 27 apresenta a avaliação do *payback* para estes equipamentos. Neste caso, o valor economizado referiu-se ao volume total de cada um destes sistemas. Além disso, neste caso, não foi avaliado o atendimento às casas populares e de alto padrão e sim à taxa em que está submetida a residência (custo convencional ou custo social).

Tabela 27 – Análise do *payback* para implementação reservatórios de menores volumes para custo convencional e custo social

Ano	Casologica						Casa da cisterna									
	Custo convencional			Custo social			Custo convencional			Custo social						
0	-R\$	347,00		-R\$	347,00		-R\$	2.472,96		-R\$	2.472,96					
1	R\$	34,92	-R\$	312,08	R\$	17,46	-R\$	329,54	R\$	152,76	-R\$	2.320,20	R\$	76,37	-R\$	2.396,59
2	R\$	34,92	-R\$	277,17	R\$	17,46	-R\$	312,09	R\$	152,76	-R\$	2.167,44	R\$	76,37	-R\$	2.320,22
3	R\$	34,92	-R\$	242,25	R\$	17,46	-R\$	294,63	R\$	152,76	-R\$	2.014,67	R\$	76,37	-R\$	2.243,85
4	R\$	34,92	-R\$	207,33	R\$	17,46	-R\$	277,18	R\$	152,76	-R\$	1.861,91	R\$	76,37	-R\$	2.167,49
5	R\$	34,92	-R\$	172,41	R\$	17,46	-R\$	259,72	R\$	152,76	-R\$	1.709,15	R\$	76,37	-R\$	2.091,12
6	R\$	34,92	-R\$	137,50	R\$	17,46	-R\$	242,27	R\$	152,76	-R\$	1.556,39	R\$	76,37	-R\$	2.014,75
7	R\$	34,92	-R\$	102,58	R\$	17,46	-R\$	224,81	R\$	152,76	-R\$	1.403,62	R\$	76,37	-R\$	1.938,38
8	R\$	34,92	-R\$	67,66	R\$	17,46	-R\$	207,35	R\$	152,76	-R\$	1.250,86	R\$	76,37	-R\$	1.862,01
9	R\$	34,92	-R\$	32,75	R\$	17,46	-R\$	189,90	R\$	152,76	-R\$	1.098,10	R\$	76,37	-R\$	1.785,64
10	R\$	34,92	R\$	2,17	R\$	17,46	-R\$	172,44	R\$	152,76	-R\$	945,34	R\$	76,37	-R\$	1.709,27
11	R\$	34,92	R\$	37,09	R\$	17,46	-R\$	154,99	R\$	152,76	-R\$	792,57	R\$	76,37	-R\$	1.632,91
12	R\$	34,92	R\$	72,01	R\$	17,46	-R\$	137,53	R\$	152,76	-R\$	639,81	R\$	76,37	-R\$	1.556,54
13	R\$	34,92	R\$	106,92	R\$	17,46	-R\$	120,08	R\$	152,76	-R\$	487,05	R\$	76,37	-R\$	1.480,17
14	R\$	34,92	R\$	141,84	R\$	17,46	-R\$	102,62	R\$	152,76	-R\$	334,29	R\$	76,37	-R\$	1.403,80
15	R\$	34,92	R\$	176,76	R\$	17,46	-R\$	85,16	R\$	152,76	-R\$	181,52	R\$	76,37	-R\$	1.327,43
16	R\$	34,92	R\$	211,67	R\$	17,46	-R\$	67,71	R\$	152,76	-R\$	28,76	R\$	76,37	-R\$	1.251,06
17	R\$	34,92	R\$	246,59	R\$	17,46	-R\$	50,25	R\$	152,76	R\$	124,00	R\$	76,37	-R\$	1.174,69
18	R\$	34,92	R\$	281,51	R\$	17,46	-R\$	32,80	R\$	152,76	R\$	276,76	R\$	76,37	-R\$	1.098,33
19	R\$	34,92	R\$	316,43	R\$	17,46	-R\$	15,34	R\$	152,76	R\$	429,53	R\$	76,37	-R\$	1.021,96
20	R\$	34,92	R\$	351,34	R\$	17,46	R\$	2,11	R\$	152,76	R\$	582,29	R\$	76,37	-R\$	945,59
21	R\$	34,92	R\$	386,26	R\$	17,46	R\$	19,57	R\$	152,76	R\$	735,05	R\$	76,37	-R\$	869,22
22	R\$	34,92	R\$	421,18	R\$	17,46	R\$	37,02	R\$	152,76	R\$	887,81	R\$	76,37	-R\$	792,85
23	R\$	34,92	R\$	456,09	R\$	17,46	R\$	54,48	R\$	152,76	R\$	1.040,58	R\$	76,37	-R\$	716,48
24	R\$	34,92	R\$	491,01	R\$	17,46	R\$	71,94	R\$	152,76	R\$	1.193,34	R\$	76,37	-R\$	640,11
25	R\$	34,92	R\$	525,93	R\$	17,46	R\$	89,39	R\$	152,76	R\$	1.346,10	R\$	76,37	-R\$	563,75

Conforme Tabela 27, pôde-se verificar que o equipamento da Casológica, com menor dimensão (240 L), possui *payback* de 10 e 20 anos para as casas que pagam a taxa convencional e social pelo uso de água, respectivamente. Quanto ao sistema da Casa da Cisterna, apenas para o custo convencional o retorno será de 17 anos.

Os VPL calculados para o sistema da Casológica foram de R\$ 92,00 e -R\$ 127,42 para as condições avaliadas, enquanto para o equipamento da Casa da Cisterna, foram de -R\$ 551,29 e -R\$ 1.512,29. Isso permite considerar que a implementação do reservatório do primeiro fornecedor possa ser um bom investimento para uma casa que possua gasto de água convencional.

As TIR para o custo convencional de água foram calculadas em 6,31% e -6,19%. Este dado demonstra que a aquisição do equipamento da Casológica se mostra um bom investimento, por possui TIR acima da Taxa Mínima de Atratividade (6,17%). Não foi possível o cálculo da TIR por meio do Excel para o custo social.

5.4.2 Sistema solar térmico

A Tabela 28 apresenta o fluxo de caixa e análise do *payback* para a implementação de Sistema Solar Térmico para diferentes taxas cobradas para obtenção de energia elétrica junto à CEMIG. No ano 0, foram inseridos os custos informados pela Fornecedoradora deste serviço, qual seja R\$ 6.050,00 e -R\$ 9.600,00 para a casa popular e de alto padrão, respectivamente.

Nos anos posteriores, foram informados os valores economizados a partir da implementação do sistema, sendo neste caso, a redução do consumo de energia, considerando uma redução de 40% ao mês, o equivalente a 60,4 kWh/mês. Para este caso, também foram avaliados o custo de energia para uma residência que pague a taxa convencional (R\$ 0,74906/kwh) e uma residência que pague a taxa social (R\$ 0,57615/kwh).

Tabela 28 – Análise do *payback* para implementação Sistema Solar Térmico para custo convencional e custo social

Ano	Custo social		Custo convencional	
	Fluxo de caixa	Payback	Fluxo de caixa	Payback
0	-R\$ 6.050,00		-R\$ 9.600,00	
1	R\$ 417,59	-R\$ 5.632,41	R\$ 542,92	-R\$ 9.057,08

Ano	Custo social		Custo convencional	
	Fluxo de caixa	Payback	Fluxo de caixa	Payback
2	R\$ 417,59	-R\$ 5.214,81	R\$ 542,92	-R\$ 8.514,16
3	R\$ 417,59	-R\$ 4.797,22	R\$ 542,92	-R\$ 7.971,24
4	R\$ 417,59	-R\$ 4.379,63	R\$ 542,92	-R\$ 7.428,33
5	R\$ 417,59	-R\$ 3.962,03	R\$ 542,92	-R\$ 6.885,41
6	R\$ 417,59	-R\$ 3.544,44	R\$ 542,92	-R\$ 6.342,49
7	R\$ 417,59	-R\$ 3.126,85	R\$ 542,92	-R\$ 5.799,57
8	R\$ 417,59	-R\$ 2.709,25	R\$ 542,92	-R\$ 5.256,65
9	R\$ 417,59	-R\$ 2.291,66	R\$ 542,92	-R\$ 4.713,73
10	R\$ 417,59	-R\$ 1.874,06	R\$ 542,92	-R\$ 4.170,81
11	R\$ 417,59	-R\$ 1.456,47	R\$ 542,92	-R\$ 3.627,89
12	R\$ 417,59	-R\$ 1.038,88	R\$ 542,92	-R\$ 3.084,98
13	R\$ 417,59	-R\$ 621,28	R\$ 542,92	-R\$ 2.542,06
14	R\$ 417,59	-R\$ 203,69	R\$ 542,92	-R\$ 1.999,14
15	R\$ 417,59	R\$ 213,90	R\$ 542,92	-R\$ 1.456,22
16	R\$ 417,59	R\$ 631,50	R\$ 542,92	-R\$ 913,30
17	R\$ 417,59	R\$ 1.049,09	R\$ 542,92	-R\$ 370,38
18	R\$ 417,59	R\$ 1.466,68	R\$ 542,92	R\$ 172,54
19	R\$ 417,59	R\$ 1.884,28	R\$ 542,92	R\$ 715,46
20	R\$ 417,59	R\$ 2.301,87	R\$ 542,92	R\$ 1.258,37

Os dados da Tabela 28 mostram que o investimento se pagará em 15 e 18 anos para os domicílios atendidos pelas taxas sociais e convencionais de energia elétrica, o que é bastante elevado em relação ao período analisado de 20 anos. Além disso, o investimento não se mostra vantajoso devido às TIR de 3% e 1%, bem como os valores negativos do VPL (-R\$ 1.325,6427 e -R\$ 3.457,8025).

5.4.3 Sistema solar fotovoltaico

As Tabelas 29 e 30 apresentam o fluxo de caixa e análise do *payback* para a implementação de Sistema Solar Fotovoltaico para diferentes taxas cobradas para obtenção de energia elétrica junto à CEMIG. No ano 0, foram inseridos os custos informados pelas Fornecedoras deste serviço, qual seja R\$ 21.248,47, R\$ 22.180,47, R\$ 25.198,54 e R\$ 11.988,00.

Nos anos posteriores, foram informados os valores economizados a partir da implementação do sistema, sendo neste caso, a redução do consumo de energia total, o equivalente a 151 kWh/mês. Para este caso, também foram avaliados o custo de energia para uma residência que pague a taxa convencional (R\$ 0,74906/kwh – Tabela 29) e uma residência que pague a taxa social (R\$ 0,57615/kwh – Tabela 30).

Tabela 29 – Análise do *payback* para implementação de sistema solar fotovoltaico para uma residência sob taxa normal de cobrança de energia

Ano	Fornecedor 1 (500 kwh)		Fornecedor 2 (435 kwh)		Fornecedor 2 (500 kwh)		Fornecedor 3 (260kwh)	
	Fluxo de caixa	Payback	Fluxo de caixa	Payback	Fluxo de caixa	Payback	Fluxo de caixa	Payback
0	-21.248,47		-22.180,47		-25.198,54		-11.988,00	
1	1357,297	-19.891,17	1357,29672	-20.823,17	1357,297	-23.841,24	1357,2967	-10.630,70
2	1357,297	-18.533,88	1357,29672	-19.465,88	1357,297	-22.483,95	1357,2967	-9.273,41
3	1358,297	-17.175,58	1358,29672	-18.107,58	1358,297	-21.125,65	1358,2967	-7.915,11
4	1359,297	-15.816,28	1359,29672	-16.748,28	1359,297	-19.766,35	1359,2967	-6.555,81
5	1360,297	-14.455,99	1360,29672	-15.387,99	1360,297	-18.406,06	1360,2967	-5.195,52
6	1361,297	-13.094,69	1361,29672	-14.026,69	1361,297	-17.044,76	1361,2967	-3.834,22
7	1362,297	-11.732,39	1362,29672	-12.664,39	1362,297	-15.682,46	1362,2967	-2.471,92
8	1363,297	-10.369,10	1363,29672	-11.301,10	1363,297	-14.319,17	1363,2967	-1.108,63
9	1364,297	-9.004,80	1364,29672	-9.936,80	1364,297	-12.954,87	1364,2967	255,67
10	1365,297	-7.639,50	1365,29672	-8.571,50	1365,297	-11.589,57	1365,2967	1.620,97
11	1366,297	-6.273,21	1366,29672	-7.205,21	1366,297	-10.223,28	1366,2967	2.987,26
12	1367,297	-4.905,91	1367,29672	-5.837,91	1367,297	-8.855,98	1367,2967	4.354,56
13	1368,297	-3.537,61	1368,29672	-4.469,61	1368,297	-7.487,68	1368,2967	5.722,86
14	1369,297	-2.168,32	1369,29672	-3.100,32	1369,297	-6.118,39	1369,2967	7.092,15
15	1370,297	-798,02	1370,29672	-1.730,02	1370,297	-4.748,09	1370,2967	8.462,45
16	1371,297	573,28	1371,29672	-358,72	1371,297	-3.376,79	1371,2967	9.833,75
17	1372,297	1.945,57	1372,29672	1.013,57	1372,297	-2.004,50	1372,2967	11.206,04
18	1373,297	3.318,87	1373,29672	2.386,87	1373,297	-631,20	1373,2967	12.579,34
19	1374,297	4.693,17	1374,29672	3.761,17	1374,297	743,10	1374,2967	13.953,64
20	1375,297	6.068,46	1375,29672	5.136,46	1375,297	2.118,39	1375,2967	15.328,93
21	1376,297	7.444,76	1376,29672	6.512,76	1376,297	3.494,69	1376,2967	16.705,23
22	1377,297	8.822,06	1377,29672	7.890,06	1377,297	4.871,99	1377,2967	18.082,53
23	1378,297	10.200,35	1378,29672	9.268,35	1378,297	6.250,28	1378,2967	19.460,82
24	1379,297	11.579,65	1379,29672	10.647,65	1379,297	7.629,58	1379,2967	20.840,12
25	1380,297	12.959,95	1380,29672	12.027,95	1380,297	9.009,88	1380,2967	22.220,42

Tabela 30 – Análise do *payback* para implementação de sistema solar fotovoltaico para uma residência sob taxa de cobrança de energia para baixa renda

Ano	Fornecedor 1 (500 kwh)		Fornecedor 2 (435 kwh)		Fornecedor 2 (500 kwh)		Fornecedor 3 (260kwh)	
	Fluxo de caixa	Payback	Fluxo de caixa	Payback	Fluxo de caixa	Payback	Fluxo de caixa	Payback
0	-21.248,47		-22.180,47		-25.198,54		-11.988,00	
1	1357,29672	-19.891,17	1357,29672	-20.823,17	1357,29672	-23.841,24	1357,2967	-10.630,70
2	1376,29672	-18.514,88	1376,29672	-19.446,88	1376,29672	-22.464,95	1376,2967	-9.254,41
3	1377,29672	-17.137,58	1377,29672	-18.069,58	1377,29672	-21.087,65	1377,2967	-7.877,11
4	1378,29672	-15.759,28	1378,29672	-16.691,28	1378,29672	-19.709,35	1378,2967	-6.498,81
5	1379,29672	-14.379,99	1379,29672	-15.311,99	1379,29672	-18.330,06	1379,2967	-5.119,52
6	1380,29672	-12.999,69	1380,29672	-13.931,69	1380,29672	-16.949,76	1380,2967	-3.739,22
7	1381,29672	-11.618,39	1381,29672	-12.550,39	1381,29672	-15.568,46	1381,2967	-2.357,92
8	1382,29672	-10.236,10	1382,29672	-11.168,10	1382,29672	-14.186,17	1382,2967	-975,63
9	1383,29672	-8.852,80	1383,29672	-9.784,80	1383,29672	-12.802,87	1383,2967	407,67
10	1384,29672	-7.468,50	1384,29672	-8.400,50	1384,29672	-11.418,57	1384,2967	1.791,97
11	1385,29672	-6.083,21	1385,29672	-7.015,21	1385,29672	-10.033,28	1385,2967	3.177,26
12	1386,29672	-4.696,91	1386,29672	-5.628,91	1386,29672	-8.646,98	1386,2967	4.563,56
13	1387,29672	-3.309,61	1387,29672	-4.241,61	1387,29672	-7.259,68	1387,2967	5.950,86
14	1388,29672	-1.921,32	1388,29672	-2.853,32	1388,29672	-5.871,39	1388,2967	7.339,15
15	1389,29672	-532,02	1389,29672	-1.464,02	1389,29672	-4.482,09	1389,2967	8.728,45
16	1390,29672	858,28	1390,29672	-73,72	1390,29672	-3.091,79	1390,2967	10.118,75
17	1391,29672	2.249,57	1391,29672	1.317,57	1391,29672	-1.700,50	1391,2967	11.510,04
18	1392,29672	3.641,87	1392,29672	2.709,87	1392,29672	-308,20	1392,2967	12.902,34
19	1393,29672	5.035,17	1393,29672	4.103,17	1393,29672	1.085,10	1393,2967	14.295,64
20	1394,29672	6.429,46	1394,29672	5.497,46	1394,29672	2.479,39	1394,2967	15.689,93
21	1395,29672	7.824,76	1395,29672	6.892,76	1395,29672	3.874,69	1395,2967	17.085,23
22	1396,29672	9.221,06	1396,29672	8.289,06	1396,29672	5.270,99	1396,2967	18.481,53
23	1397,29672	10.618,35	1397,29672	9.686,35	1397,29672	6.668,28	1397,2967	19.878,82
24	1398,29672	12.016,65	1398,29672	11.084,65	1398,29672	8.066,58	1398,2967	21.277,12
25	1399,29672	13.415,95	1399,29672	12.483,95	1399,29672	9.465,88	1399,2967	22.676,42

Conforme tabelas 29 e 30, o tipo de taxa paga pela residência não teve influência sobre o período de *Payback* para os orçamentos recebidos de cada uma das Fornecedoras. O investimento na Fornecedoradora 1 se pagará em 16 anos, na Fornecedoradora 2 (435 kwh) se pagará em 17 anos, na Fornecedoradora 2 (500 kwh) se pagará em 19 anos e na Fornecedoradora 3 em 9 anos. Desse modo, com o custo mais reduzido, o Sistema Solar Fotovoltaico com maior viabilidade é o da Fornecedoradora 3.

Em relação à TIR, para domicílios que pagam taxa convencional, os valores foram de 4%, 4%, 2% e 10%, enquanto para os domicílios que pagam a taxa social foram de 4%, 4%, 3% e 11%. Desta forma, novamente, apenas com base no orçamento da Fornecedoradora 3 foram observados valores acima da Taxa Mínima de Atratividade avaliada.

Por fim, os custos para a aquisição deste equipamento foram mais vantajosos com esta Fornecedoradora ao avaliar o VPL, sendo que apenas ela resultou em valores positivos. Os valores obtidos foram de -R\$ 4.072,90, -R\$ 5.004,90, -R\$ 8.022,97 e R\$ 5.187,57 para o custo convencional e -R\$ 3.851,78, -R\$ 4.783,78, -R\$ 7.801,85 e R\$ 5.408,69 para o custo social. Desse modo, a proposta da Fornecedoradora 3 representa um bom investimento também no sentido econômico.

5.5 Comparação com renda familiar

Neste trabalho, foram apresentados os custos médios levantados para a implementação das tecnologias Aproveitamento de Águas Pluviais, Sistema Solar Térmico, Sistema Solar Fotovoltaico, Telhado Verde e Gestão de Resíduos Sólidos. A Tabela 31 resume os principais valores levantados para as mesmas.

Tabela 31 – Tabela dos custos médios para implantação das tecnologias estudadas

Tecnologia	Custo
Aproveitamento de Águas Pluviais	
Cisterna com itens opcionais – Casa Popular	R\$ 33.445,00
Cisterna com itens opcionais – Casa de Alto Padrão	R\$ 129.608,00
Kit Mini Cisterna 240L + Eco Filtro – Bombona	R\$ 347,00 (sem frete)
Cisterna vertical modulas 1050 L com filtro e clorador	R\$ 2.472,96 (sem frete)
Sistema solar térmico	
Casa popular (440,82 L/dia)	R\$ 6.050,00 (sem frete)
Casa de Alto Padrão (845,90 L/dia)	R\$ 9.600,00 (sem frete)
Sistema solar fotovoltaico	
Sistema de 500 kWh/mês	R\$ 21.248,47
Telhado verde	

Casa popular (39,56 m ²)	R\$ 7.120,80 (sem frete)
Casa de Alto Padrão (224,82 m ²)	R\$ 40.467,60 (sem frete)
Gestão de resíduos sólidos orgânicos	
Composteira doméstica	R\$ 297,00 (sem frete)
Homebiogas	R\$ 10.500,00
	R\$ 49,90 por mês
Gestão por assinatura	(+ R\$ 29,90 se gerar mais que 12 L de resíduos)

Conforme estes dados, é possível verificar que a implantação de tecnologias sustentáveis possuem diferentes custos aquisitivos, sendo verificados valores elevados em algumas situações.

Equipamentos para implementação de aproveitamento de águas pluviais podem ter custos variáveis desde R\$ 347,00 a R\$ 129.608,00. Esta grande faixa envolve o tamanho de armazenamento do sistema. Tal como dito anteriormente, implantar as cisternas de maiores dimensões, não seria tão efetivo, visto que a água coletada seria empregada para usos mais simplificados devido ao menor tratamento dado à mesma.

O levantamento de custo do Sistema Solar Térmico envolveu a análise apenas de uma empresa. O equipamento foi dimensionado para atender a uma casa popular e a uma casa de alto padrão. Os valores estimados, com mão-de-obra inclusa e sem taxa de entrega, foram de R\$ 6.050,00 e de R\$ 9.600,00.

Em relação ao Sistema Solar Fotovoltaico, as empresas consultadas recomendaram um sistema para atender um consumo mínimo de 300 kWh/mês, porém, a configuração dos sistemas que enviaram o orçamento possibilita atender ao consumo de 500 kWh/mês. Assim, foram desconsiderados os orçamentos menores. Dentre as duas Fornecedoras que responderam para este valor, o custo de R\$ 21.248,47 foi o mais vantajoso.

No município de Belo Horizonte, não foi verificada a presença de empresas que prestam serviço para implantação de Telhados Verdes, tendo sido consultadas empresas localizadas em São Paulo. Duas empresas retornaram o contato, sendo o menor custo para aquisição o de R\$ 7.120,80 para uma casa popular e R\$ 40.467,60 para uma casa de alto padrão.

Por fim, foram, também, estimados os custos para implantação de sistemas de gestão do resíduo orgânico doméstico e disponíveis em Belo Horizonte. Foram encontradas 3 diferentes soluções: compostagem, bioreator e gestão por assinatura. Os custos para implementação são bem variados, desde R\$ 49,90 mensal a R\$ 10.500,00.

No estudo de viabilidade econômica, apenas o reservatório da Casológica, na situação de um domicílio que não pague o custo social de água, representa um bom investimento em relação às tecnologias de aproveitamento de águas pluviais. É o mesmo caso da proposta da Fornecedora 3 para implementação de sistema solar fotovoltaico, tanto para casas que paguem o custo social quanto as que paguem o custo convencional para fornecimento de energia elétrica.

Para uma família, a escolha de quais práticas e tecnologias empregar dependerá de diversos fatores, como conhecimento da tecnologia, aceitação, praticidade, dentre outros. Entretanto, o fator que possui maior relevância, principalmente para famílias de baixa renda, é o custo para implementação.

A Tabela 1, anteriormente apresentada, mostra a renda mensal estimada para cada classe econômica no ano base de 2022. É possível verificar que, para famílias pertencentes às classes com menor renda, a dificuldade para implementação destas tecnologias é maior. Isso devido ao fato de a renda ser convertida em gastos essenciais como alimentação, saúde, educação, contas mensais.

As classes econômicas D-E contam com valores inferiores ao Salário Mínimo para se manter. Isso se torna um empecilho muito grande no interesse destas em implementar tecnologias sustentáveis, as quais se verifica elevados custos.

Apesar do estudo de viabilidade econômica não considerar a renda média familiar, nele estão consideradas as taxas sociais cobradas pelas concessionárias de água e energia, portanto, este estudo leva a crer que os custos cobrados pelas empresas fornecedoras das tecnologias avaliadas fazem com que a implementação destes sistemas não sejam um bom investimento para famílias de baixa classe. Ocorre uma exceção para o caso do sistema solar fotovoltaico da Fornecedora 3 que, apesar da menor geração de energia, é suficiente para atender o consumo médio informado pela

CEMIG para domicílios belo-orientinos. Todavia, ainda um investimento de longo prazo que se pagará em 9 anos.

A implementação de novas práticas e tecnologias por famílias de baixa renda é interessante devido à redução de custos de contas, assim como o fato do aproveitamento das potencialidades ainda existentes em materiais que seriam descartados ou na água de chuva incidente em sua residência.

No município de Belo Horizonte, é possível verificar a presença de muitas famílias de baixa renda que não são adequadamente atendidas pelos serviços de água, energia, esgoto, coleta de resíduos sólidos e drenagem pluvial prestados pela prefeitura e concessionárias locais. Assim, a implementação de tecnologias sustentáveis pode propiciar um ganho de dignidade e um empoderamento dessas famílias.

É importante destacar que estas tecnologias propiciam outras vantagens, conforme as já citadas ao longo deste trabalho, além de serem benéficas para o meio ambiente, o que já as torna atrativas até mesmo para as classes de menores rendimentos. O investimento necessário para a sua implementação poderia representar uma barreira para a sua maior adoção. Porém, atualmente, são encontrados diversas fontes de financiamento para atender esta demanda.

Além disso, famílias pertencentes à classes média e alta buscam a utilização destas tecnologias para redução de contas mensais de energia elétrica e água. Pois, apesar do alto custo de investimento, em pouco tempo podem recuperar o valor investido, o que torna vantajosa a aquisição.

Neste trabalho, foi verificado que nenhum dos preços analisados representam bons investimentos em relação ao aspecto econômico, nem mesmo para residências de alto padrão. Entretanto, foram empregados dados de consumo de água e de energia médios para o município de Belo Horizonte, os quais podem não ser tão representativos em relação aos valores reais para as diferentes classes sociais.

Além disso, a adoção das tecnologias abordadas neste estudo deve considerar todos os aspectos ao longo da vida útil de cada tecnologia. O consumidor deve avaliar, também, as manutenções necessárias, o descarte posterior, dentre outros. Por vezes,

a falta de manutenções adequadas ocasiona perdas de eficiência no equipamento que podem levar ao seu posterior abandono. Assim como no caso dos telhados verdes, por exemplo, o proprietário que não acompanhe o seu sistema, pode vir a sofrer com problemas com infiltração da residência, um problema que pode comprometer a estrutura da edificação.

Mobarak *et al.* (2022) apontam que a adoção de novas tecnologias enfrenta realmente barreiras de contexto social e político. As principais explicações apresentadas costumam envolver falta de dinheiro para investir em novos produtos e ausência de informações sobre um dado problema e as possíveis soluções. A questão econômica refere-se a ausência de dinheiro para investir ou a impossibilidade de adquirir um empréstimo ou poupar dinheiro para isto. Para este empecilho, a criação de créditos ou estímulos financeiros pode propiciar a adoção de novas tecnologias. Isto pode propiciar a oportunidade de experimentar esta nova tecnologia e levar à novas mudanças individuais ou entre amigos e vizinhos.

Outras questões que estes pesquisadores apresentam para baixa adesão à novas tecnologias é a ausência de informações, medo de arriscar e ao fato das normas sociais se apresentarem como barreiras para mudanças (MOBARAK *et al.*, 2022).

6 CONCLUSÕES

Por meio do presente trabalho, inicialmente foi possível verificar que os modelos elaborados em 2012 e 2014 empregados para a estimativa do consumo de água, energia elétrica e de geração de resíduos sólidos com base na renda *per capita* populacional, quando aplicados atualmente para o município de Belo Horizonte/MG, Brasil, não obtiveram valores satisfatórios que se aproximem da realidade, apresentado, respectivamente, erros relativos de 47%, 80% e 41%. Isto pode ter ocorrido devido a mudanças nos aspectos socioeconômicos considerados neste período, como a participação de classes, tamanho populacional, renda *per capita*, dentre outros. Ou pode haver relação com fatores de consumo de água e de energia e geração de resíduos sólidos, como a eficiência de equipamentos utilizados nas residências, modificação nos sistemas de medições das concessionárias ou mesmo mudança nos hábitos da população.

Desta forma, para trabalhos futuros e a continuidade da eficácia do modelo, é necessária uma recalibração para que os dados sejam representativos do atual contexto socioeconômico e possam auxiliar nas suas diversas aplicações possíveis. Para isto, deveriam ser atualizados, nos modelos, os bancos de dados socioeconômicos, de consumo e de geração e a realização de nova regressão matemática. Recomenda-se empregar informações com maior desagregação possível de dados no município e fazer uma nova correlação entre eles, tendo como fonte de dados, assim como no modelo original, o IBGE e as prestadoras de serviços de abastecimento de água, de energia elétrica e de resíduos sólidos

Com base no presente estudo, pôde-se, também, verificar que, para todas as classes sociais avaliadas, os valores *per capita* estimados de consumo de água e de geração de resíduos sólidos apresentaram resultados próximos aos registrados pela COPASA (123,68 L/hab.dia) e pela SLU (0,69 kg/hab.dia). Sugere-se a realização de novas avaliações neste sentido, para verificar a aplicabilidade dos modelos em estimar o consumo de água e a geração de resíduos por pessoa e não apenas para a população total de um município.

Por meio do levantamento de custos médios para a instalação das tecnologias Aproveitamento de Águas Pluviais, Sistema Solar Térmico, Sistema Solar Fotovoltaico, Telhado Verde e Gestão de Resíduos Sólidos, foi possível verificar que elas possuem diferentes custos aquisitivos, em uma faixa variando entre R\$ 49,90 e R\$ R\$ 129.608,00. As tecnologias mais robustas possuem valores mais elevados de implementação, dentre as quais pode-se citar o aproveitamento total das águas pluviais incidentes no telhado, telhados verdes e Sistemas Solares Fotovoltaicos.

Em relação à viabilidade econômica, dentre as soluções identificadas com base nos orçamentos recebidos, apenas o reservatório da Casológica, para um domicílio que não pague o custo social de água, e a implementação de sistema solar fotovoltaico da Fornecedora 3 mostraram-se bons investimentos em relação ao período de retorno. Na análise do Payback, TIR e VPL, as demais tecnologias não foram satisfatórias.

É possível verificar que, para famílias pertencentes às classes com menor renda, a dificuldade para implementação destas tecnologias é maior. Isso ocorre devido ao fato de a renda ser convertida em gastos essenciais. Quanto às famílias de maiores rendimentos, a possibilidade do seu uso é maior, visto seu maior poder aquisitivo.

REFERÊNCIAS

ABEP - Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa. *Critério de Classificação Econômica Brasil*. Disponível em: <https://www.abep.org/criterioBr/01_cceb_2022.pdf>. Acesso em 07 de dezembro de 2022.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil*. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/download-panorama-2022>>. Acesso em: 16 de abril de 2023.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 12.721: Avaliação de custos de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edilícios*. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 15527: Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos*. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 15569: Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto – Requisitos de projeto e instalação*. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ALMEIDA, C. M. C.; MOL, M. P. G. Avaliação da coleta seletiva no município de Belo Horizonte, Brasil. *Revista AIDIS de Ingeniería y ciencias ambientales*, vol. 13, n. 3, p. 1032-1047, 2020.

ALVIM, F. H.; SILVA, A. B. H. Estudo da viabilidade do reaproveitamento de água de chuva na cidade de Belo Horizonte-MG para utilização residencial. *Revista da arquitetura – cidadania e habitação*, vol. 1, n. 1, p. 30-41, 2021.

AMARAL, M. C.; SILVEIRA, A.G.; MATTOS, V. L. D.; KONRATH, A. C.; NAKAMURA, L. R. Relação de longo prazo entre o consumo anual residencial de energia elétrica e o Índice de Desenvolvimento Humano no Brasil: uma análise mediante conceito de cointegração. *Revista Thema*, vol. 21, n. 4, 2022.

AMARAL, T.; MEDEIROS, G. A.; MANCINI, S. D.; GUANDIQUE, M. E. G.; COIMBRA, V. P. Gestão de resíduos internos em aterro sanitário privado em fase de expansão. *III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental*, Goiânia/GO, 2012.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. *Expansão da Matriz elétrica brasileira (março/2023)*. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2023/novas-usinas-em-operacao-comercial-no-primeiro-trimestre-de-2023-somam-2-7-gw>>. Acesso em 10 de julho de 2023.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa ANEEL nº 1.059, de 7 de fevereiro de 2023. Aprimora as regras para a conexão e o faturamento de centrais de microgeração e minigeração distribuída em sistemas de distribuição de energia elétrica, bem como as regras do Sistema de Compensação de Energia Elétrica; altera as Resoluções Normativas nº 920, de 23 de fevereiro de 2021, 956, de 7 de dezembro de 2021, 1.000, de 7 de dezembro de 2021, 1009, de 22 de março de 2022, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*: seção 1, p. 65, v. 161, n.30, 10/02/2023.

AWASTHI, S. K.; SARSAIYA, S.; KUMAR, V.; CHATURVEDI, P.; SINDHU, R.; BINOD, P.; ZHANG, Z.; PANDEY, A.; AWASTHI, M. K. Processing of municipal solid waste resources for a circular economy in China: An overview. *Fuel*, vol. 317, 2022.

BAYER, N. M.; URANGA, P. R. R.; FOCHEZATTO, A. A curva ambiental de Kuznets na produção de resíduos sólidos domiciliares nos municípios brasileiros, 2011-2015. *Economia e Sociedade*, vol. 31, n. 1, p. 129-142, 2022

BARBOSA, L. H. A. *Estudo e projeto de um sistema fotovoltaico residencial conectado à rede*. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia/MG, p.78, 2021.

BIO MOVEMENT. *Homebiogas 2.0*. Disponível em: <<https://homebiogas.com.br/produto/homebiogas-2-compre-agora/>>. Acesso em 11 de Abril de 2023.

BJØRNSTAD, E. Diffusion of renewable heating technologies in households. Experiences from the Norwegian Household Subsidy Programme. *Energy Policy*, vol. 48, p. 148-158, 2012.

BRASIL. Câmara dos deputados. *PL 2404/2021 – Projeto de Lei*. 2021. Disponível em: <<https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2289039>>. Acesso em 10 de julho de 2023.

BRASIL. Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. *Diário Oficial da União*: Seção 1, Brasília, DF, 3/8/2010.

BRASIL. Lei Federal nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências. *Diário Oficial da União*: Seção 1, Brasília, DF, 5/8/2022.

CASA DA CISTERNA. *Cisterna vertical modular 1050L com filtro e clorador – Completa*. Disponível em: <<https://www.casadacisterna.com.br/cisterna-vertical-modular-1050l-com-filtro-e-clorador-completa-p3>>. Acesso em 13 de abril de 2023.

CASOLÓGICA. *Kit Mini Cisterna 240l + Eco Filtro – Bombona / Tambor / Barrica / Chuva*. Disponível em: <<https://casologica.com.br/produto/kit-mini-cisterna-240/>>. Acesso em 13 de abril de 2023.

CEMIG, Companhia Energética de Minas Gerais. *Relatório Anual de Sustentabilidade*. Disponível em: <<https://www.cemig.com.br/wp-content/uploads/2022/04/ras-2021.pdf>>. Acesso em 11 de fevereiro de 2023.

CHEN, X.; SHUAI, C.; CHEN, Z.; ZHANG, Y. What are the root causes hindering the implementation of green roofs in urban China? *Science of the Total Environment*, vol. 654, p. 742-750, 2019.

CHIOATTO, E.; KHAN, M. A.; SOSPIRO, P. Sustainable Solid Waste Management in the European Union: Four Countries Regional Analysis. *SEEDS Working Paper Series*, vol. 03, 2022.

CLAUDY, M. C.; MICHELSEN, C.; O'DRISCOLL, A. The diffusion of microgeneration technologies – assessing the influence of perceived product characteristics on home owners' willingness to pay. *Energy Policy*, vol. 39, p. 1459-1469, 2011.

COELHO, T. F.; SERRA, J. C. V. Tecnologias para reciclagem de Sistemas fotovoltaicos: impactos ambientais. *Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade*, vol. 15, n. 7, 2018.

CORTELLETTI, C. L. *Loop: design thinking de serviço como auxílio na valorização da reciclagem doméstica*. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em design) – Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul, p. 157, 2019.

CRESESB. *Manual de Engenharia para sistemas fotovoltaicos*. Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito, 2014.

DIAS, D. M. *O impacto da renda domiciliar sobre a demanda de água, de energia elétrica e a geração de resíduos sólidos em centros urbanos: uma modelagem a partir de cenários socioeconômicos conjunturais*. 2012. 125 f. Tese (Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2012.

DIAS, D. M.; MARTINEZ, C. B.; BARROS, R. T. V.; LIBÂNIO, M. Modelo para estimativa da geração de resíduos sólidos domiciliares em centros urbanos a partir de variáveis socioeconômicas conjunturais. *Engenharia Sanitária Ambiental*, vol. 17, n. 3, p. 325-332, 2012.

DIAS, D. M.; MARTINEZ, C. B.; LIBÂNIO, M. Avaliação do impacto da variação da renda no consumo domiciliar de água. *Engenharia Sanitária Ambiental*, vol. 15, n. 2, p.155-166, 2010.

DIAS, D. M.; MARTINEZ, C. B.; LIBÂNIO, M. Modelo para estimativa do consumo domiciliar de água e de energia elétrica em centros urbanos a partir de variáveis socioeconômicas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, vol. 19, n. 4, p. 7 – 20, 2014

DIAS, D. M.; MARTINEZ, C. B.; BARROS, R. T. V.; LIBÂNIO, M. Modelo para estimativa da geração de resíduos sólidos domiciliares em centros urbanos a partir de variáveis socioeconômicas conjunturais. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, vol. 17, n. 3, p. 325-332, 2012.

DIAS, D. M.; MARTINEZ, C. B.; LIBÂNIO, M. Modelo para estimativa do consumo domiciliar de água e de energia elétrica em centros urbanos a partir de variáveis socioeconômicas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, vol. 19, n. 4, p. 7-20, 2014.

DIAZ-RAINEY, I.; ASHTON, J. K. Investment inefficiency and the adoption of eco-innovations: The case of household energy efficiency technologies. *Energy Policy*, vol. 82, p. 105-117, 2015.

DONG, J.; ZUO, J.; LUO, J. Development of a Management Framework for Applying Green Roof Policy in Urban China: A Preliminary Study. *Sustainability*, vol. 12, 2020.

EMILIANO, M.; DIAS, M. T. F. Vilas Boas Lopes Frattari Advogados. *Publicada a Resolução Normativa ANEEL nº 1.059/2023, que trouxe novas orientações ao setor*. Disponível em: < http://vlf.adv.br/noticia_aberta.php?id=2115>. Acesso em 21 de abril de 2023.

FALCE, B. O; LEÃO, B. D. A.; CARVALHO, A. H. O. Caracterização da Agricultura Urbana (AU) em Ibatiba (Espírito Santo). *Meio Ambiente (Brasil)*, vol. 3, n. 1, p. 33-45, 2021.

FERNANDES, B. A. *Modelagem computacional do balanço hídrico de uma cobertura verde instalada em edificação na área central de Belo Horizonte*. Monografia (Grau de Engenheiro Civil). Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, p. 73, 2019.

FONSECA, J. P. S. M.; FERRARI, E. M. M.; CARDOSO, R. B. Análise dos impactos energéticos e econômicos do programa brasileiro de etiquetagem energética (PBE/Inmetro) em coletores solares térmicos do Brasil. *Research, Society and Development*, vol.7, n. 1, 2018.

FRANÇA, P. M. *A cobertura verde como instrumento sustentável: Estudo de caso da Fazenda Urbana de Belo Horizonte*. Monografia (Especialista em Sistemas Tecnológicos e Sustentabilidade Aplicados ao Ambiente Construído) – Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 85, 2017.

FREITAS, A. F. O.; JESUS, P. V. S.; FEITOSA, I. C. Reúso de águas cinzas em edifícios residenciais: estudo de caso em uma residência unifamiliar. *Ciências exatas e tecnológicas*, vol. 6, n.3, p. 11-40, 2021.

FREITAS, L. M. C.; FREIRE, R. C.; SILVA JÚNIOR, C. P.; LIMA, A. C. A.; STEFANUTTI R. Qualidade do composto final produzido a partir da compostagem doméstica de resíduos orgânicos. In: Organização de Viviana Maria Zanta et al. *Gestão e Valorização de resíduos orgânicos biodegradáveis*. São Leopoldo/RS: Ed. Casa Leiria, 2017, p. 61-72.

FREITAS, L. M. C.; WIESER, C. J.; STEFANUTTI, R. Variação da temperatura e redução da massa na compostagem doméstica. In: IX Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental, XV Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Ambiental e III Fórum Latino Americano de Engenharia e Sustentabilidade, Belo Horizonte, 2017.

GARCIAS, C. E. *Vermicompostagem e princípios ativos de plantas medicinais: Estratégias pedagógicas no ensino de reações químicas*. Dissertação (Mestre em ensino de Ciências) Programa de pós-graduação em formação científica, educacional e tecnológica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Curitiba, p. 103, 2021.

GHEINER, F.; MACEDO, M. A. S. SIQUEIRA, J. R. M. Viabilidade financeira de sistemas fotovoltaicos residenciais: uma análise em condições de incerteza. *Revista*

de *Contabilidade do Mestrado em Ciências Contábeis da UERJ*, vol. 25, n. 3, p. 82-96, 2020.

GIMENEZ-MARANGES, M.; BREUSTE, J.; HOF, A. Sustainable Drainage Systems for transitioning to sustainable urban flood management in the European Union: A review. *Journal of Cleaner Production*, vol. 255, 2020.

GÓMEZ, J. M. R.; CARLESSO, F.; VIEIRA, L. E.; DA SILVA, L. A irradiância solar: conceitos básicos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 40, n. 3, 2018.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Cidades e Estados: Belo Horizonte*. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/belo-horizonte.html>>. Acesso em 24 de janeiro de 2023.

INFOSANBAS. *Belo Horizonte*. Disponível em: <<https://infosanbas.org.br/municipio/belo-horizonte-mg/#Caracteriza%C3%A7%C3%A3o-social,-territorial-e-econ%C3%B4mica>>. Acesso em 11 de fevereiro de 2023.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. *Precipitação Acumulada Mensal e Anual (mm)*. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/uploads/normais/Normal-Climatologica-PREC.xlsx>>. Acesso em 27 de março de 2023.

JI, L.; WU, Y.; SUN, L.; ZHAO, X.; WANG, X.; XIE, Y.; GUO, J.; HUANG, G. Solar photovoltaics can help China fulfill a net-zero electricity system by 2050 even facing climate change risks. *Resources, Conservation & Recycling*, vol. 186, 2022.

KHAN, S.; ANJUM, R.; RAZA, S. T.; BAZAI, N. A.; IHTISHAM, M. Technologies for municipal solid waste management: Current status, challenges, and future perspectives. *Chemosphere*, vol. 288, 2022.

KLEPA, R. B.; MIRANDA, A. C.; MELO, K. G. P. C.; FONTES, L. C. B. Água de Reúso em sistema Predial: Sustentabilidade e Economia. *Anais do VIII SINGEP – São Paulo – SP*, 2020.

LENZ, A. M. *Uso da energia solar para aquecimento de água e microgeração de eletricidade visando a sustentabilidade energética de uma residência unifamiliar rural*. Dissertação (Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Paraná, p.91, 2016.

LIANG, J; IRFAN, M.; IKRAM, M; ZIMON, D. Evaluating natural resources volatility in an emerging economy: The influence of solar energy development barriers. *Resources Policy*, vol. 78, 2022.

LIU, Y.; LI, G.; ZENG, P.; ZHANG, X.; TIAN, T.; FENG, H.; CHE, Y. Challenge of rainwater harvesting in Shanghai, China: A public psychological perspective. *Journal of Environmental Management*, vol. 318, 2022.

MAGRO, P. S. D. *Dimensionamento e análise econômica de sistema de aquecimento solar de água para uma residência estudantil no sul do Brasil*. Monografia (Diploma de Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, p.22, 2016.

MAIMONI, F. P.; CARDOSO, R. B. Análise de viabilidades econômicas para alternativas de utilização da energia solar em residência do Estado de Minas Gerais, Brasil. *Research, Society and Development*, vol. 9, n. 8, 2020.

MASSALAS. *Coleta Ecopontos – Semanal*. Disponível em:< <https://massalas.com.br/produto/coleta-ecopontos/>>. Acesso em 11 de abril de 2023.

MATIAS, F. F. *Desenvolvimento, construção e estudo de um módulo solar térmico, fotovoltaico e termoelétrico*. Dissertação (Mestre em Engenharia Eletromecânica) – Universidade da Beira Interior, Covilhã, p.158, 2019.

MINELGAITÉ, A.; LIOBIKIENÉ, G. Waste problem in European Union and its influence on waste management behaviours. *Science of the Total Environment*, vol, 667, p.86-93, 2019.

MINHOCAS BELO HORIZONTE. *Composteira Doméstica Completa (com 300 minhocas)*. Disponível em:

<<https://minhocasbelohorizonte.lojaintegrada.com.br/elb91gv2f-composteira-media-completa-com-minhocas-residencia-com-3-ou-4-pessoas>>. Acesso em 11 de abril de 2023.

MOBARAK, A. M.; SALDANHA, N. A. Remove barriers to technology adoption for people in poverty. *Nature Human Behaviour*, vol. 6, p. 480-482, 2022.

MONTEIRO, A. M. Modelagem de uma cidade sustentável com foco na financiabilidade: um estudo de caso de Belo Horizonte, Minas Gerais. Trabalho de Conclusão de Curso (Título de Engenheira Ambiental) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, p. 68, 2021.

MOREIRA, C. C. *Implantação de horta orgânica e percepção dos envolvidos sobre alimentação saudável: O caso da Casa da Mãe Preta, Núcleo Bandeirante – DF*. Trabalho de Conclusão de Curso (Título de Engenheira Agrônoma) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília. Brasília, p. 41, 2018.

NEGRI, B. R.; LISBOA, A. C. L.; BARTOLI, J. R.; SOARES, M. C. P. Estudo sobre sistemas de baixo custo para aquecimento de água por energia solar utilizando coletores solares e reservatórios térmicos a base de materiais poliméricos. *Revista Brasileira de Energia Solar*, vol. 10, n. 2, p. 111-120, 2019.

NIQUINI, L. L.; NUNES, A. A.; PONTES, B. S.; LOPES, C. P. L.; SOUZA, J. C.; DRUMMOND, J. M.; GONÇALVES, R. R. Modelagem hidrológica com o uso de infraestruturas verdes: estudo de caso para a bacia do córrego ressaca, situada no município de Belo Horizonte. *Sustentare*, vol. 3, n. 1, 2019.

OLIVEIRA, C. A.; SILVA, T. A.; MARTELLI, A.; SAMUDIO, E. M. M.; MARCHEZAN, A. R. P. Energia Sustentável para consumo residencial: Eólica versus Fotovoltaica. *Revista Faculdades do Saber*, vol. 04, n. 7, p. 441-454, 2019.

OLIVEIRA, G. M.; FERNANDES, S. M. S.; ALVES, P. M. Hortas Urbanas: quando a sustentabilidade urbana é posta em prática. In: Ed. UFPel. *Hortas Urbanas: quando a sustentabilidade encontra a cidade*. Pelotas/RS: Ed. UFPel, 2021. p.14-39.

OLIVEIRA, L. M.; ALVES, L. A. Estudo sobre modalidades de reaproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas para uso residencial. *Revista Boletim do Gerenciamento*, n. 13, 2019.

OPUS. *Critério Brasil*. Disponível em: <<https://www.opuspesquisa.com/blog/mercado/criterio-brasil/>>. Acesso em 20 de fevereiro de 2023.

OSIČKA, J; ČERNOCH, F. European energy politics after Ukraine: The road ahead. *Energy Research & Social Science*, vol. 91, 2022.

PEREIRA, L. O que é a TIR e como calcular. Dicionário Financeiro. Disponível em: <<https://www.dicionariofinanceiro.com/tir-taxa-interna-retorno/>>. Acesso em 08 de julho de 2023.

PEREIRA, L. O que é Valor Presente Líquido (VPL) e como calcular. Dicionário Financeiro. Disponível em: <<https://www.dicionariofinanceiro.com/valor-presente-liquido/>>. Acesso em 08 de julho de 2023.

PBH, Prefeitura de Belo Horizonte. Dados Abertos Superintendência de Limpeza Urbana. Disponível em: <<https://dados.pbh.gov.br/organization/superintendencia-de-limpeza-urbana>>. Acesso em 24 de janeiro de 2023.

QTAISHAT, Y.; HOFMAN, J.; ADEYEYE, K. CircularWater Economy in the EU: Findings from Demonstrator Projects. *Clean Technol*, vol. 4, p.865-892, 2022.

RIBEIRO, D. P.; XAVIER, M. R.; CORSINO, T. R. Efeitos econômicos na utilização da energia solar residencial em Minas Gerais. *Revista Paramétrica*, vol. 14, n. 1, 2022.

ROSA, S. S. Evidência da curva de Kuznets ambiental no Brasil. *Estudo & Debate*, vol. 29, n. 3, p. 144-162, 2022.

RÜTHER, R. *Edifícios solares fotovoltaicos*. Florianópolis: Editora UFSC/LABSOLAR, 2004.

SANTOS, A. S. P.; VIEIRA, J. M. P. Reúso de água para o desenvolvimento sustentável: aspectos de regulamentação no Brasil e em Portugal. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)*, vol. 8, n. 1, p. 50-68, 2020.

SANTOS, F. A.; SOUZA, C. A.; DALFIOR, V. A. O. Energia solar: um estudo sobre a viabilidade econômica de instalação do sistema fotovoltaico em uma residência em Ipatinga-MG. *XIII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia*, 2014.

SAVI, A. C.; HÜTNER, O. L. J.; FARIA, F. C.; UHMANN, I. M. S. Práticas de agricultura urbana: uma análise do cultivo de hortaliças em telhados verdes. *Brazilian Journal of Development*. Vol. 5, n. 10, p. 20746-20749, 2019.

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. *Cadeia de valor da energia solar fotovoltaica no Brasil*. Brasília, SEBRAE, 2018.

SILVA, E. P. F. *Análise da viabilidade técnico-econômica da implementação de um sistema de microgeração eólico residencial na cidade de Mossoró-RN*. Monografia (Bacharel em Ciência e Tecnologia) – Centro de Ciências Exatas da Universidade Federal Rural do Semiárido. Mossoró, p. 39, 2019.

SILVA, K. C. A.; FERREIRA, A. T. Comparação entre métodos de dimensionamento de reservatório propostos pela ABNT NBR 15527:2007 para sistemas de aproveitamento de águas pluviais em residência unifamiliar – Carapicuíba – SP. *Revista Eletrônica de Engenharia Civil*. Vol. 15, n. 2, p. 273-286, 2019.

SILVA, K. L.; COSTA, N. S.; GARCIA, P. L. M.; MUSSEL, M. C.; FERREIRA, M.; VIANNA, C. R. Minhocário de baixo custo: uma alternativa viável para o reaproveitamento de resíduos orgânicos domésticos. *Meta*, vol. 1, n.1, p. 386-392, 2016.

SILVA, P. D. M.; SILVA, M. C.; LEITÃO, S. K. V.; MUNIZ, A. V. P. O Uso de compostagem doméstica na produção de adubo para hortas domiciliares. *Mix Sustentável*. Vol. 5, n. 4, p. 63-70, 2019.

SILVA, R. T. B. O fomento de uma análise sustentável frente a atual crise paradigmática ambiental. *Conhecimento Interativo*, vol. 14, n. 1, p. 1-13, 2020.

SILVA, V. L. A.; KASHIWA, L. Sustentabilidade e conforto: a aplicação do telhado verde como solução sustentável. *Mix sustentável*, vol. 4, n. 1, p. 117-122, 2018.

SIMÕES, N. M. S. P. *Construção e avaliação do desempenho de um coletor solar térmico “faça você mesmo”*. Dissertação (Mestre em Engenharia do Ambiente na Especialidade de Tecnologia e Gestão do Ambiente) – Faculdade de ciências e tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, p.83, 2018.

SNIS, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. *Painel de Indicadores: Belo Horizonte*. Disponível em: <http://appsnis.mdr.gov.br/indicadores/web/residuos_solidos/mapa-indicadores>. Acesso em 07 de fevereiro de 2023.

SNIS, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. *Painel de Regionalização dos Serviços de Saneamento Básico no Brasil: Belo Horizonte*. Disponível em: <<http://appsnis.mdr.gov.br/regionalizacao-hmg/web/mapa/index?id=15>>. Acesso em 07 de fevereiro de 2023.

SOARES, A. F. S.; FERNANDES, C. B. S.; CRUZ, G. S. P.; OLIVEIRA, J. S.; SILVA, L. F. M. Análise dos sistemas de coleta e transporte de resíduos sólidos urbanos na Austrália e nas capitais brasileiras São Paulo e Belo Horizonte. *Direito Izabela Hendrix*, vol. 22, n. 22, 2019.

TAN, T. H. Satisfaction and motivation of homeowners towards green homes. *Social Indicators Research*, vol. 116, p. 869–885, 2013.

VICH, V.; QUEIROZ, L. M.; MIYAMOTO, H. P.; SANTO, C. V. S.; ZANTA, V. M. Compostagem de resíduos de alimentos em composteira doméstica de pequeno porte. In: Organização de Viviana Maria Zanta et al. *Gestão e Valorização de resíduos orgânicos biodegradáveis*. São Leopoldo/RS: Ed. Casa Leiria, 2017, p. 49-60.

WANG, S.; WU, Y.; PENG, Y.; XU, J.; LEINONEN, L.; WANG, Y.; MENG, Z. Influence of Residential Photovoltaic Promotion Policy on Installation Intention in Typical Regions of China. *Sustainability*, vol. 14, 2022.

XIANG, C.; LIU, J.; SHAO, W.; MEI, C.; ZHOU, J. Sponge city construction in China: policy and implementation experiences. *Water Policy*, vol. 21, p. 19-37, 2019.

ZAMBRANO-PRADO, P.; PONS-GUMÍ, D.; TOBOSO-CHAVERO, S.; PARADA, F.; JOSA, A.; GABARRELL, X.; RIERADEVALL, J. Perceptions on barriers and opportunities for integrating urban agri-green roofs: A European Mediterranean compact city case. *Cities*, vol. 114, 2021.

ZHANG, X.; SHEN, L.; WU, YUZHE. Green strategy for gaining competitive advantage in housing development: a China study. *Journal of Cleaner Production*, vol. 19, p. 157-167, 2011.

ZSIBORÁCS, H.; PINTÉR, G.; VINEZE, A.; BARANYAI, N. H.; MAYER, M. J. The reliability of photovoltaic power generation scheduling in seventeen European countries. *Energy Conversion and Management*, vol. 260, 2022.

APÊNDICE A – Ofícios encaminhados à COPASA e à CEMIG



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

OFÍCIO Nº 17/2022/ENGENHARIA-ESA-UFMG

Belo Horizonte, 12 de dezembro de 2022

À

CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais S.A.

Assunto: solicitação de dados para elaboração de pesquisa acadêmica.

Prezados senhores,

Por meio do presente ofício, solicitamos a possibilidade de disponibilizar informações que subsidiarão pesquisa acadêmica que ora se encontra em andamento no Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (PPG-SMARH) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Trata-se de dissertação de mestrado desenvolvida pela aluna Ana Luiza Cordeiro, que objetiva pré-dimensionamento e levantamento de custos para implementação de tecnologias sustentáveis residenciais no município de Belo Horizonte, sob orientação do professor Eduardo Coutinho de Paula, do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA/UFMG).

Para tal, são necessários os dados mais recentes de consumo médio mensal de energia elétrica para categoria residencial para os principais bairros – ou regiões - do município de Belo Horizonte.

Desde já, a pesquisadora e seu orientador assumem, expressamente, o compromisso de que as informações serão utilizadas exclusivamente para o fim acadêmico aqui especificado, não sendo repassados a terceiros e tampouco aplicados a outros objetivos. A participação de sua instituição contribuirá de modo significativo para o desenvolvimento científico social.

A resposta à presente solicitação pode ser encaminhada aos e-mails: ambiental.cordeiro@gmail.com e/ou ecoutinho@desa.ufmg.br

Certos de vosso apoio, expressamos nossos agradecimentos, também, pela atenção,

Atenciosamente,

EDUARDO COUTINHO DE PAULA

Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental

Escola de Engenharia/UFMG



Documento assinado eletronicamente por **Eduardo Coutinho de Paula, Professor do Magistério Superior**, em 12/12/2022, às 09:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1952735** e o código CRC **42997596**.

Referência: Processo nº 23072.249869/2021-45

SEI nº 1952735



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

OFÍCIO Nº 17/2022/ENGENHARIA-ESA-UFMG

Belo Horizonte, 22 de dezembro de 2022

À

CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais S.A.

Assunto: solicitação de dados para elaboração de pesquisa acadêmica.

Prezados senhores,

Por meio do presente ofício, solicitamos a possibilidade de disponibilizar informações que subsidiarão pesquisa acadêmica que ora se encontra em andamento no Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (PPG-SMARH) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Trata-se de dissertação de mestrado desenvolvida pela aluna Ana Luiza Cordeiro, que objetiva pré-dimensionamento e levantamento de custos para implementação de tecnologias sustentáveis residenciais no município de Belo Horizonte, sob orientação do professor Eduardo Coutinho de Paula, do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA/UFMG).

Para tal, são necessários os dados mais recentes de consumo médio mensal de energia elétrica para categoria residencial para todos os municípios da região metropolitana de Belo Horizonte.

Desde já, a pesquisadora e seu orientador assumem, expressamente, o compromisso de que as informações serão utilizadas exclusivamente para o fim acadêmico aqui especificado, não sendo repassados a terceiros e tampouco aplicados a outros objetivos. A participação de sua instituição contribuirá de modo significativo para o desenvolvimento científico social.

A resposta à presente solicitação pode ser encaminhada aos e-mails: ambiental.cordeiro@gmail.com e/ou ecoutinho@desa.ufmg.br

Certos de vosso apoio, expressamos nossos agradecimentos, também, pela atenção,

Atenciosamente,

EDUARDO COUTINHO DE PAULA

Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental

Escola de Engenharia/UFMG



Documento assinado eletronicamente por **Eduardo Coutinho de Paula, Professor do Magistério Superior**, em 22/12/2022, às 13:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1952735** e o código CRC **76FDD548**.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

OFÍCIO Nº 16/2022/ENGENHARIA-ESA-UFMG

Belo Horizonte, 12 de dezembro de 2022

À

Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA MG

A/C: Sr. Wallace Lúcio Silva – Superintendente de Relacionamento com o Cliente

Assunto: solicitação de dados para elaboração de pesquisa acadêmica.

Por meio do presente ofício, solicitamos a possibilidade de disponibilizar informações que subsidiarão pesquisa acadêmica que ora se encontra em andamento no Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (PPG-SMARH) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Trata-se de dissertação de mestrado desenvolvida pela aluna Ana Luiza Cordeiro, que objetiva pré-dimensionamento e levantamento de custos para implementação de tecnologias sustentáveis residenciais no município de Belo Horizonte, sob orientação do professor Eduardo Coutinho de Paula, do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA/UFMG).

Para tal, são necessários os dados mais recentes de consumo médio mensal de água para categoria residencial dos principais bairros – ou regiões – do município de Belo Horizonte.

Desde já, a pesquisadora e seu orientador assumem, expressamente, o compromisso de que as informações serão utilizadas exclusivamente para o fim acadêmico aqui especificado, não sendo repassados a terceiros e tampouco aplicados a outros objetivos. A participação de sua instituição contribuirá para o desenvolvimento científico social.

A resposta à presente solicitação pode ser encaminhada aos e-mails: ambiental.cordeiro@gmail.com e/ou ecoutinho@desa.ufmg.br

Certos de vosso apoio, expressamos nossos agradecimentos, também, pela atenção,

Atenciosamente,

EDUARDO COUTINHO DE PAULA

Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental
Escola de Engenharia/UFMG



Documento assinado eletronicamente por **Eduardo Coutinho de Paula, Professor do Magistério Superior**, em 12/12/2022, às 09:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1952711** e o código CRC **30199AC8**.

Referência: Processo nº 23072.249869/2021-45

SEI nº 1952711

**APÊNDICE B – Modelos de e-mails encaminhados às empresas para
solicitação de orçamento**

Orçamento Sistema Solar Térmico para pesquisa de mestrado (UFMG)

Prezados, Bom dia,

Meu nome é Ana Luiza e sou mestranda no Programa de Pós Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG. Minha pesquisa objetiva o pré-dimensionamento e levantamento de custos para implementação de tecnologias sustentáveis residenciais no município de Belo Horizonte e tenho como orientador o professor Eduardo Coutinho de Paula.

Através do presente e-mail, me dirijo ao seu empreendimento solicitando orçamento dos custos necessários para a implementação de Sistema Solar Térmico no chuveiro, lavatório e da pia de cozinha de uma residência com consumo de água quente de 440,82 L/dia. Se possível, preciso saber os valores para:

- 1- Aquisição do equipamento;
- 2 - Mão de obra de instalação;
- 3 - Manutenções.

Por fim, solicito algumas informações sobre o equipamento empregado, tais como marca/modelo, volume de armazenamento, etc.

Desde já, assumo, expressamente, o compromisso de que as informações serão utilizadas exclusivamente para o fim acadêmico aqui especificado, não sendo repassados a terceiros e tampouco aplicados a outros objetivos. Assim como o nome da empresa não será divulgado no trabalho. A participação de sua instituição contribuirá para o desenvolvimento científico social.

Caso necessitem de maiores esclarecimentos, podem entrar em contato comigo por e-mail ou telefone (31-99682-7111). Se necessário, os orçamentos podem ser elaborados em nome da Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa (CNPJ: 18.720.938/0001-41, IE: Isento. Av. Antônio Carlos, 6627, Unidade Administrativa II, Pampulha, CEP 31270901, BH/MG).

Certa de vosso apoio, expressei meus agradecimentos, também, pela atenção,

Atenciosamente,

--

Ana Luiza Cordeiro

(31) 99682-7111

<https://www.linkedin.com/in/ana-luiza-cordeiro-7ba27068/>

<http://lattes.cnpq.br/5878101178991805>

Mestranda no Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos - UFMG

Especialista em Recuperação de Áreas Degradadas - UFV

Engenheira Ambiental e Sanitarista - CEFET-MG

Orçamento Sistema Solar Fotovoltaico para pesquisa de mestrado (UFMG)

Prezados, Boa tarde,

Meu nome é Ana Luiza e sou mestranda no Programa de Pós Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG. Minha pesquisa objetiva o pré-dimensionamento e levantamento de custos para implementação de tecnologias sustentáveis residenciais no município de Belo Horizonte e tenho como orientador o professor Eduardo Coutinho de Paula.

Através do presente e-mail, me dirijo ao seu empreendimento solicitando orçamento dos custos necessários para a implementação de Sistema Solar Fotovoltaico em uma residência com consumo energético mensal de 151 kWh/mês. Se possível, preciso saber os valores para:

- 1- Aquisição do equipamento;
- 2 - Mão de obra de instalação;
- 3 - Manutenções.

Por fim, solicito algumas informações sobre o equipamento empregado, tais como marca/modelo, potência, etc.

Desde já, assumo, expressamente, o compromisso de que as informações serão utilizadas exclusivamente para o fim acadêmico aqui especificado, não sendo repassados a terceiros e tampouco aplicados a outros objetivos. Assim como o nome da empresa não será divulgado no trabalho. A participação de sua instituição contribuirá para o desenvolvimento científico social.

Caso necessitem de maiores esclarecimentos, podem entrar em contato comigo por e-mail ou telefone (31-99682-7111). Se necessário, os orçamentos podem ser elaborados em nome da Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa (CNPJ: 18.720.938/0001-41, IE: Isento. Av. Antônio Carlos, 6627, Unidade Administrativa II, Pampulha, CEP 31270901, BH/MG).

Certa de vosso apoio, expresse meus agradecimentos, também, pela atenção,

Atenciosamente,

--

Ana Luiza Cordeiro

(31) 99682-7111

<https://www.linkedin.com/in/ana-luiza-cordeiro-7ba27068/>

<http://lattes.cnpq.br/5878101178991805>

Mestranda no Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos - UFMG

Especialista em Recuperação de Áreas Degradadas - UFV

Engenheira Ambiental e Sanitarista - CEFET-MG

Orçamento Aproveitamento de águas pluviais para pesquisa (UFMG)

Prezados, Bom dia,

Meu nome é Ana Luiza e sou mestranda no Programa de Pós Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG. Minha pesquisa objetiva o pré-dimensionamento e levantamento de custos para implementação de tecnologias sustentáveis residenciais no município de Belo Horizonte e tenho como orientador o professor Eduardo Coutinho de Paula.

Através do presente e-mail, me dirijo ao seu empreendimento solicitando orçamento dos custos necessários para a implementação de Sistema para aproveitamento da água de chuva em uma residência com telhado de 39,56 m² e para outra com telhado de 224,82 m². Se possível, preciso saber os valores para:

- 1- Aquisição do equipamento;
- 2 - Mão de obra de instalação;
- 3 - Manutenções.

Por fim, solicito algumas informações sobre o equipamento empregado, tais como marca/modelo, capacidade, etc.

Desde já, assumo, expressamente, o compromisso de que as informações serão utilizadas exclusivamente para o fim acadêmico aqui especificado, não sendo repassados a terceiros e tampouco aplicados a outros objetivos. Assim como o nome da empresa não será divulgado no trabalho. A participação de sua instituição contribuirá para o desenvolvimento científico social.

Caso necessitem de maiores esclarecimentos, podem entrar em contato comigo por e-mail ou telefone (31-99682-7111). Se necessário, os orçamentos podem ser elaborados em nome da Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa (CNPJ: 18.720.938/0001-41, IE: Isento. Av. Antônio Carlos, 6627, Unidade Administrativa II, Pampulha, CEP 31270901, BH/MG).

Certa de vosso apoio, expresso meus agradecimentos, também, pela atenção,

Atenciosamente,

--

Ana Luiza Cordeiro

(31) 99682-7111

<https://www.linkedin.com/in/ana-luiza-cordeiro-7ba27068/>

<http://lattes.cnpq.br/5878101178991805>

Mestranda no Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos - UFMG

Especialista em Recuperação de Áreas Degradadas - UFV

Engenheira Ambiental e Sanitarista - CEFET-MG

Orçamento Telhados Verdes para pesquisa de mestrado (UFMG)

Prezados, Boa noite,

Meu nome é Ana Luiza e sou mestranda no Programa de Pós Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG. Minha pesquisa objetiva o pré-dimensionamento e levantamento de custos para implementação de tecnologias sustentáveis residenciais no município de Belo Horizonte e tenho como orientador o professor Eduardo Coutinho de Paula.

Através do presente e-mail, me dirijo ao seu empreendimento solicitando orçamento dos custos necessários para a implementação de telhado verde em uma residência com telhado de 39,56 m² e para outra com telhado de 224,82 m² localizada no município de Belo Horizonte. Se possível, preciso saber os valores para:

- 1- Aquisição do equipamento;
- 2 - Mão de obra de instalação;
- 3 - Manutenções.

Por fim, solicito maiores informações sobre a estrutura empregada.

Desde já, assumo, expressamente, o compromisso de que as informações serão utilizadas exclusivamente para o fim acadêmico aqui especificado, não sendo repassados a terceiros e tampouco aplicados a outros objetivos. Assim como o nome da empresa não será divulgado no trabalho. A participação de sua instituição contribuirá para o desenvolvimento científico social.

Caso necessitem de maiores esclarecimentos, podem entrar em contato comigo por e-mail ou telefone (31-99682-7111). Se necessário, os orçamentos podem ser elaborados em nome da Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa (CNPJ: 18.720.938/0001-41, IE: Isento. Av. Antônio Carlos, 6627, Unidade Administrativa II, Pampulha, CEP 31270901, BH/MG).

Certa de vosso apoio, expresso meus agradecimentos, também, pela atenção,

Atenciosamente,

--

Ana Luiza Cordeiro

(31) 99682-7111

<https://www.linkedin.com/in/ana-luiza-cordeiro-7ba27068/>

<http://lattes.cnpq.br/5878101178991805>

Mestranda no Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos - UFMG

Especialista em Recuperação de Áreas Degradadas - UFV

Engenheira Ambiental e Sanitarista - CEFET-MG