

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS E ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

VITÓRIA LAWALL

**AVALIAÇÃO DO USO DE ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS
EM RESIDÊNCIAS PARA DIMINUIÇÃO DA PEGADA
ECOLÓGICA**

Porto Alegre

Dezembro 2018

VITÓRIA LAWALL

**AVALIAÇÃO DO USO DE ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS EM RESIDÊNCIAS
PARA DIMINUIÇÃO DA PEGADA ECOLÓGICA**

Trabalho de Diplomação apresentado ao
Curso de Engenharia Ambiental da Universidade
Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos
requisitos para a obtenção do título de Engenheira
Ambiental

Orientador: Gino Roberto Gehling

Coorientador: Antônio Domingues Benetti

Porto Alegre

Dezembro 2018

CIP - Catalogação na Publicação

Lawall, Vitória
AVALIAÇÃO DO USO DE ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS EM
RESIDÊNCIAS PARA DIMINUIÇÃO DA PEGADA ECOLÓGICA /
Vitória Lawall. -- 2018.
80 f.
Orientador: Gino Roberto Gehling.

Coorientador: Antônio Domingues Benetti.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Pesquisas Hidráulicas, Curso de Engenharia
Ambiental, Porto Alegre, BR-RS, 2018.

1. Sustentabilidade. 2. Residência unifamiliar. 3.
Período de retorno. 4. Pegada ecológica. I. Gehling,
Gino Roberto, orient. II. Benetti, Antônio Domingues,
coorient. III. Título.

VITÓRIA LAWALL

**AVALIAÇÃO DO USO DE ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS EM RESIDÊNCIAS
PARA DIMINUIÇÃO DA PEGADA ECOLÓGICA**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRA AMBIENTAL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e Comissão Avaliadora.

Aprovado em: Porto Alegre, 12 de dezembro de 2018

Prof. Gino Roberto Gehling
Dr. em Engenharia Ambiental pela Universitat Politècnica de Catalunya
Orientador

Prof. Antônio Domingues Benetti
Dr. em Engenharia Civil pela Cornell University
Coorientador

BANCA EXAMINADORA

Prof. Gino Roberto Gehling (UFRGS)
Dr. em Engenharia Ambiental pela Universitat Politècnica de Catalunya

Natália Pietzsch (UFRGS)
Me. em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Thais Braga Frota (UFRGS)
Engenheira Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho à minha mãe, Mara, que, durante o tempo que lhe foi permitido, foi minha maior incentivadora e apoiadora; e ao meu pai, Helio, que acredita no meu potencial como ninguém.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor Gino Roberto Gehling, orientador deste trabalho, pela disponibilidade e atenção dispensadas durante a execução do mesmo, e pelos conhecimentos transmitidos.

Agradeço ao professor Antônio Domingues Benetti por mostrar-se disponível para coorientar este estudo e auxiliar quando necessário.

Agradeço à Ecotelhado, em especial ao Engenheiro Agrônomo João Manuel Linck Feijó, pelas informações cedidas e pela receptividade da empresa para a ideia do projeto.

Agradeço à UFRGS e a todos os professores dos quais tive a honra de ser aluna pelos ensinamentos e vivências.

Agradeço aos meus colegas de curso e amigos conquistados ao longo da graduação pelo companheirismo e força em todos os momentos.

Agradeço à Júlia e à Caetana por terem sido minha base em Porto Alegre.

Agradeço aos meus amigos da vida e à minha família por saber que posso contar com vocês, mesmo que de longe.

Agradeço ao meu namorado, Lucas, por ouvir minhas reclamações e frustrações e tentar sempre me mostrar o lado positivo das situações; agradeço também pelos bons momentos compartilhados.

Agradeço ao meu pai e ao meu irmão por serem meu porto seguro e fornecerem os subsídios necessários para que eu pudesse realizar este curso, além de todo apoio emocional que sempre dispensaram.

Agradeço, especialmente, à minha mãe que, de onde quer que esteja, tenho certeza que torce por mim com o maior amor do mundo.

Por fim, agradeço a todos que passaram pelo meu caminho e que, de alguma maneira, contribuíram para a finalização desta importante etapa da minha vida.

A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo.

Albert Einstein

RESUMO

O crescimento populacional associado à urbanização tende a trazer incoerências entre o desenvolvimento humano e a conservação ambiental. Atualmente, entretanto, novas tecnologias e alternativas que visam à sustentabilidade nas residências já foram e estão sendo desenvolvidas. Este estudo buscou relacionar algumas destas alternativas dentro da temática proposta e realizar uma análise ambiental e econômica referente à adoção destas em uma habitação, uma vez que a atratividade financeira é um dos principais critérios de escolha entre um ou outro sistema. Através de ferramentas de engenharia econômica, tais quais Valor Presente Líquido e *Payback*, foi calculado o período de retorno para o investimento em uma residência unifamiliar, sendo que este resultou em um valor entre 9 e 13 anos. Além disso, visando comparar os impactos ambientais entre a abordagem sustentável e a tradicional, calculou-se a Pegada Ecológica - ferramenta para medir o desenvolvimento ecológico - relativa à variação dos equipamentos considerados e esta foi reduzida em 43,5% quando do uso da abordagem sustentável. Outros fatores relacionados à sustentabilidade das construções foram relatados e, com isso, chegou-se à conclusão de que, nas condições analisadas, o investimento em equipamentos inovadores apresenta um curto período de retorno dos investimentos frente à vida útil esperada para as edificações, além de reduzir os impactos ambientais associados ao consumo de recursos da residência.

Palavras-chave: sustentabilidade; residência unifamiliar; período de retorno; pegada ecológica.

ABSTRACT

Population growth associated with urbanization tends to bring inconsistencies between human development and environmental conservation. Currently, however, new technologies and alternatives aimed at sustainability in homes have been and are being developed. This study sought to relate some of these alternatives within the proposed theme and perform an environmental and economic analysis regarding their adoption in a residence, since financial attractiveness is one of the main criteria for choosing between one system or another. Through economic engineering tools, such as Net Present Value and Payback, the payback period for the investment in a single-family residence was calculated, resulting in a value between 9 and 13 years. In addition, in order to compare the environmental impacts between the sustainable and the traditional approach, the Ecological Footprint - a tool for measuring ecological development - was calculated for the variation of the equipment considered and was reduced by 43,5% when using the sustainable approach. Other factors related to the sustainability of buildings were reported and, therefore, it was concluded that, under the conditions analyzed, investment in innovative equipment has a short payback period compared to the expected useful life of the buildings, besides reduce the environmental impacts associated with resource consumption in the residence.

Keywords: sustainability; single family residence; payback; ecological footprint.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama das etapas do trabalho.	18
Figura 2 - Distribuição do consumo de água em unidade residencial unifamiliar.	25
Figura 3 - Bacia sanitária de válvula.	26
Figura 4 - Bacia sanitária com caixa acoplada.	26
Figura 5 - Composição dos RSU no Rio Grande do Sul.	27
Figura 6 - Ábaco de dimensionamento de reservatório de água da chuva para a cidade de Porto Alegre pelo atendimento à demanda.	31
Figura 7 - Ábaco de dimensionamento de reservatório de água da chuva para a cidade de Porto Alegre pelo extravasamento.	32
Figura 8 - Chuveiro a gás NC.	33
Figura 9 - Vaso sanitário de meio litro.	34
Figura 10 - Destaque para o interior do vaso sanitário de meio litro.	34
Figura 11 - Área da <i>Wetland</i> construída do Ecoesgoto, onde ocorre tratamento completo dos resíduos sanitários.	35
Figura 12 - Área da <i>Wetland</i> construída incorporada no ambiente biofílico.	36
Figura 13 - Exemplo de Telhado Verde em uma edificação.	37
Figura 14 - Esquema de montagem do Sistema Modular Alveolar Grelhado.	39
Figura 15 - Membrana alveolar responsável pela reserva de água para vegetação.	40
Figura 16 - Esquema de montagem do Sistema Alveolar Leve.	40
Figura 17 - Módulo de armazenamento de água do Sistema Laminar Alto.	41
Figura 18 - Esquema de montagem do Sistema Laminar Alto.	41
Figura 19 - Módulo de armazenamento de água do Sistema Laminar Médio.	42
Figura 20 - Destaque para o armazenamento de água no Sistema Laminar Médio.	42
Figura 21 - Esquema de montagem do Sistema Alveolar Médio.	42
Figura 22 - Esquema de montagem do Sistema Hidromodular.	43

Figura 23 - Fluxograma da metodologia do estudo.	61
Figura 24 - Ábaco de dimensionamento do reservatório de água da chuva, com indicação das características consideradas.	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo das alternativas sustentáveis abordadas neste estudo.	47
Tabela 2 - Seções do telhado reservadas às diferentes finalidades.....	53
Tabela 3 - Tarifas básicas dos serviços do DMAE na categoria residencial.	56
Tabela 4 - Tarifas básicas dos serviços da CORSAN na categoria residencial.....	57
Tabela 9 - Tarifas residenciais de energia elétrica da CEEE.....	58
Tabela 6 - Fatores de emissão utilizados na pesquisa.....	60
Tabela 3 - Demandas de água para usos Não-Potáveis.	63
Tabela 4 - Demandas de água para usos Potáveis.	63
Tabela 5 - Demandas por energia elétrica consideradas no estudo.	64
Tabela 6 - Resumo das demandas consideradas para cada abordagem de interesse. ...	64
Tabela 11 - Características consideradas no dimensionamento do reservatório de água da chuva.....	65
Tabela 12 - Orçamentos dos equipamentos adotados no estudo.	66
Tabela 13 - Consumos de água considerados na análise econômica.	67
Tabela 14 - Tarifas de água e energia associadas às situações propostas.....	68
Tabela 15 - TRD para o investimento na abordagem sustentável.	68
Tabela 16 - TRD desconsiderando a economia de energia elétrica.	69
Tabela 17 - Emissão de CO ₂ associada às abordagens estudadas.	70
Tabela 18 - Pegada ecológica associada às abordagens estudadas.....	70

LISTA DE SIGLAS

CEEE - Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica

COFINS - Contribuição para Financiamento da Seguridade Social

CORSAN - Companhia Riograndense de Saneamento

DMAE - Departamento Municipal de Água e Esgoto

ICMS - Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

IPH - Instituto de Pesquisas Hidráulicas

MMA - Ministério do Meio Ambiente

MO - Matéria Orgânica Sólida

ONU - Organização das Nações Unidas

PB - Preço Básico

PE - Pegada Ecológica

PEAD - Polietileno de alta densidade

PIS - Programas de Integração Social e de Formação do Patrimônio do Servidor Público

PVC - Policloreto de vinila

RSU - Resíduos Sólidos Urbanos

SNIS - Secretaria Nacional de Informações sobre Saneamento

TMA - Taxa Mínima de Atratividade

TRD - Tempo de Retorno Descontado

UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

VPL - Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. DIRETRIZES DA PESQUISA.....	17
2.1. QUESTÃO DA PESQUISA.....	17
2.2. OBJETIVOS	17
2.2.1. Objetivo Geral	17
2.2.2. Objetivos Específicos	17
2.3. DELINEAMENTO.....	17
2.4. LIMITAÇÕES	19
3. REVISÃO BILIOGRÁFICA.....	20
3.1. SUSTENTABILIDADE	20
3.2. PEGADA ECOLÓGICA	22
3.3. PADRÕES DE CONSUMO.....	24
3.4. ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS PARA RESIDÊNCIAS.....	27
3.4.1. Gestão da Água.....	28
3.4.1.1. Aproveitamento da Água da Chuva.....	29
3.4.1.2. Chuveiro Ecológico	32
3.4.1.3. Vaso Sanitário de Meio Litro	33
3.4.1.4. Tratamento de Esgoto Doméstico.....	34
3.4.1.4.1. Ecoesgoto.....	34
3.4.1.4.2. Telhado Verde / Ecotelhado	37
3.4.2. Gestão de Resíduos Sólidos.....	43
3.4.3. Resumo das Alternativas Descritas	46
3.5. FERRAMENTAS DE ANÁLISE ECONÔMICA	50
4. METODOLOGIA.....	52
4.1. CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS ESTUDADOS	52
4.1.1. Cenário 1 de Análise.....	52
4.1.2. Cenário 2 de Análise.....	53

4.2. DEMANDAS DE ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA	54
4.3. DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO DE ÁGUA DA CHUVA.....	54
4.4. ASPECTOS ECONÔMICOS	54
4.4.1. Investimento Financeiro	55
4.4.2. Tarifas de Água e Energia Elétrica	55
4.4.3. Ferramentas de Análise Econômica.....	58
4.5. ASPECTOS AMBIENTAIS	59
4.6. FLUXOGRAMA DO MÉTODO	61
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	62
5.1. DEMANDAS DE ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA	62
5.2. DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO DE ÁGUA DA CHUVA.....	64
5.3. ANÁLISE ECONÔMICA	65
5.4. ANÁLISE AMBIENTAL.....	69
5.4.1. Pegada Ecológica.....	69
5.4.2. Aspectos Não Mensuráveis.....	71
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	72
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da urbanização, associado ao crescimento populacional, traz consigo diversos impactos ambientais e sociais. Alguns destes são o aumento da impermeabilização das superfícies e, conseqüentemente, incremento nos escoamentos pluviais superficiais - que intensificam a ocorrência de inundações (MORÉS, 2006), a degradação da qualidade dos corpos hídricos (BUFFON, 2010) pelo despejo inadequado de efluentes e resíduos sólidos, as maiores demandas por recursos ambientais para suprimento de necessidades e manutenção do atual estilo de vida da população, entre outros. Estes problemas não são recentes (RAMOS, 2016), mas são potencializados com o passar dos anos devido às tendências de aglomerações em centros urbanos, além da abordagem utilizada tradicionalmente nas construções.

Os citados impactos podem ser amenizados através da aplicação de técnicas e tecnologias que visam ao desenvolvimento sustentável em diferentes escalas, inclusive na residencial. Dessa forma, percebe-se uma tendência de desenvolvimento de alternativas voltadas à sustentabilidade das construções, a fim de que a pegada ecológica - medida do impacto ambiental gerado por determinada população - seja atenuada, especialmente pela redução no consumo energético e hídrico das edificações. Nota-se que, nos últimos anos, houve um aumento no número de leis e decretos, obrigando alguns tipos de edificações a adotarem técnicas de reaproveitamento e gerenciamento de recursos hídricos e resíduos sólidos (RAMOS, 2016), como a Lei nº 10.506 de 2008 da cidade de Porto Alegre que instituiu o Programa de Conservação, Uso Racional e Reaproveitamento das Águas. Frente à situação exposta, espera-se que as habitações estejam cada vez mais inseridas no meio ambiente como parte integrante do sistema, causando menos impactos aos demais componentes do mesmo e tornando possível o manejo adequado dos recursos ambientais.

Este trabalho tem, então, o intuito de relacionar algumas destas tecnologias, evidenciando os benefícios atrelados a sua utilização - tanto econômicos quanto ambientais - em relação à abordagem tradicionalmente encontrada nas construções, além de buscar divulgar para a sociedade a existência de novas abordagens sobre as questões ambientais no cotidiano de nossas atividades.

2. DIRETRIZES DA PESQUISA

2.1. QUESTÃO DA PESQUISA

A questão de pesquisa é: quais as vantagens e influências que a utilização de alternativas sustentáveis em residências tem sobre a economia e o ambiente?

2.2. OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho estão classificados em geral e específicos, e são descritos a seguir.

2.2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral deste estudo é realizar o levantamento das alternativas sustentáveis para residências já existentes, dando destaque a aspectos técnicos, econômicos e ambientais associados à implementação desta abordagem, e buscando definir o período de retorno do investimento neste tipo de tecnologia.

2.2.2. Objetivos Específicos

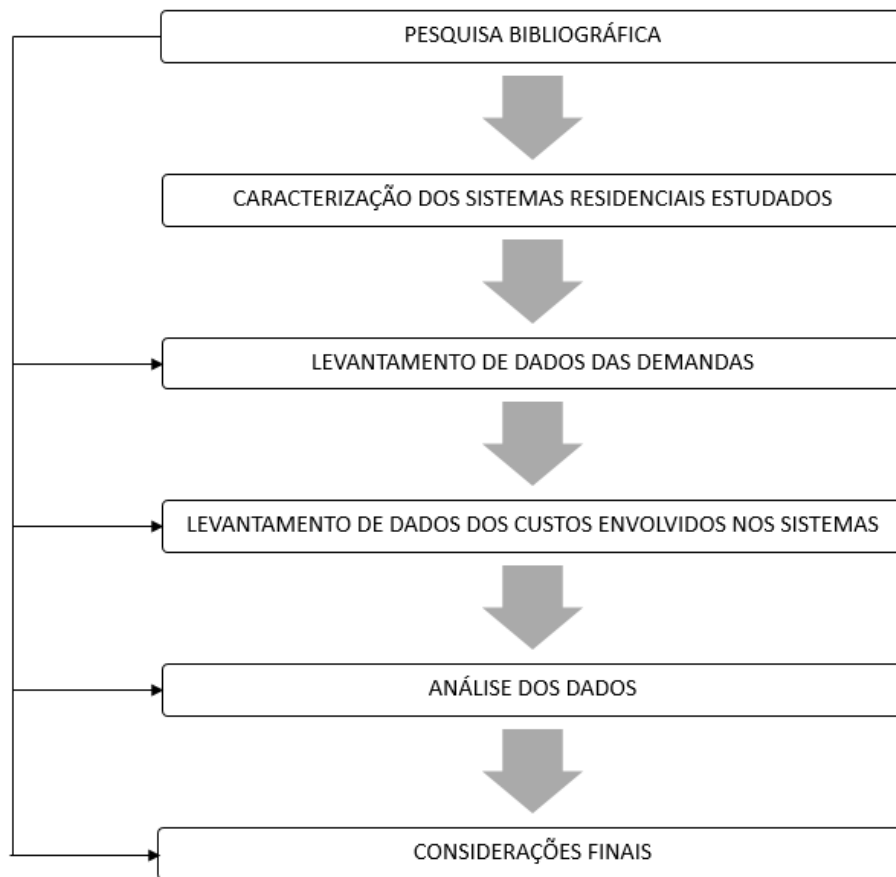
Os objetivos específicos deste estudo são os seguintes:

- a) Descrever a pegada ecológica e propor medidas que podem ser adotadas nos ambientes domésticos para reduzir este índice;
- b) Identificar equipamentos inovadores voltados à sustentabilidade;
- c) Simular dois cenários distintos para a mesma residência - um com a adoção de abordagem tradicional e um com a opção por equipamentos voltados à sustentabilidade, a fim de levantar as vantagens e desvantagens de cada cenário através da comparação entre os mesmos;
- d) Difundir o conhecimento acerca das vantagens ambientais e econômicas associadas a investimentos em equipamentos domésticos sustentáveis.

2.3. DELINEAMENTO

O trabalho será realizado através das etapas apresentadas a seguir, na Figura 1.

Figura 1 - Diagrama das etapas do trabalho.



(Fonte: elaborado pela autora)

Após a escolha do tema do trabalho, iniciou-se a pesquisa bibliográfica, a fim de obter embasamento teórico sobre o assunto e temáticas de interesse para o desenvolvimento do estudo. A busca por informações ocorrerá do início ao fim do trabalho.

Nesta primeira etapa é apresentada uma introdução sobre a pesquisa e realizada uma revisão bibliográfica acerca de importantes conceitos para o entendimento do trabalho, tais quais: desenvolvimento sustentável, pegada ecológica e padrões de consumo atuais; além de discorrer sobre as alternativas voltadas à sustentabilidade já desenvolvidas atualmente.

Na segunda etapa, serão caracterizados os dois sistemas residenciais que serão avaliados no estudo, um considerando os padrões de consumo tradicionalmente encontrados nas residências do Rio Grande do Sul e o outro com uma abordagem sustentável, definindo os equipamentos adotados em cada caso e outros fatores significativos para as análises. Posteriormente realizar-se-á a coleta de dados para definição das demandas de água potável e não-potável e de energia elétrica para ambos os casos, e também as estimativas de investimentos e custos associados aos sistemas.

A partir destes dados, será realizada a aferição da economia gerada ao longo do tempo e o *payback* do investimento em equipamentos sustentáveis, gerando assim uma análise econômica sobre os sistemas. Para analisar as vantagens ambientais associadas às diferentes abordagens, será calculada a pegada ecológica de ambos os casos, a fim de comparar os impactos gerados com a variação das realidades.

Por fim, com as demais etapas já realizadas, serão apresentadas considerações finais e discussões sobre os resultados, buscando-se divulgar as características econômicas e ambientais dos sistemas estudados.

2.4. LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

- a) a consideração apenas dos parâmetros hídricos e energéticos para a análise econômica e cálculo da pegada ecológica;
- b) a inexistência de um projeto executivo para os cenários de análise;
- c) a não consideração dos custos de manutenção dos sistemas implantados e da atualização dos investimentos ao longo do tempo;
- d) a não consideração de outras alternativas para redução nos consumos, tais quais lâmpadas e eletrodomésticos eficientes.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A presente revisão bibliográfica expõe os estudos de diversos autores sobre aspectos e temáticas importantes para o desenvolvimento deste trabalho. Primeiro, são abordados a sustentabilidade, o desenvolvimento sustentável e a pegada ecológica, visando situar o problema de pesquisa acerca de suas origens e motivações. Então, são analisados os padrões de consumo atuais da população e, posteriormente, os equipamentos voltados à sustentabilidade das construções por meio de uma abordagem histórica e corrente de seu desenvolvimento, além de ferramentas de análise econômica - fundamentais para o desenvolvimento do objetivo proposto neste estudo.

3.1. SUSTENTABILIDADE

Com o significativo crescimento da economia mundial, o impactante aumento da população e os avanços do conhecimento a respeito das limitações do funcionamento do planeta, constata-se que o presente cenário de desenvolvimento não se apresenta adequado ao sistema ecológico (JOHN, 2000). Dessa forma, vem se buscando desenvolver uma maneira de organização na qual haja concordância entre os interesses econômicos, ambientais e sociais da atualidade e futuros.

De acordo com a Comissão Brundtland (*United Nations*, 1987), sustentabilidade é o atendimento às necessidades presentes - incluindo a utilização de recursos naturais - sem impedir as próximas gerações de atender as suas próprias necessidades. Ainda, segundo a AGENDA 21 (ONU, 1992), o desenvolvimento sustentável demanda que a preservação dos recursos naturais deve garantir para as próximas gerações maior equidade no acesso aos benefícios da evolução, e não apenas iguais condições de desenvolvimento.

Outra definição relata que a sustentabilidade remete ao “desenvolvimento que garante uma melhor qualidade de vida para todos, tanto hoje quanto para as gerações futuras” (GRÃ-BRETANHA, 1998). Isto posto, conforme mencionado em Keeler e Burke (2010), o desenvolvimento sustentável busca a integração da ecologia, da economia e equidade. Assim, nasce o desafio relacionado à garantia da harmonia entre crescimento econômico, preservação da natureza e justiça social (JOHN, 2000).

Diante do exposto, percebe-se que existe a crescente necessidade de serem desenvolvidas tecnologias e abordagens de desenvolvimento que gerem menos impactos negativos para a sociedade e para o planeta, tais quais a adequação de processos para que estes tenham maior

eficiência, com menos desperdícios e menos necessidade de insumos primários para seu funcionamento. Positivamente, neste sentido, a visão de desenvolvimento sustentável coincide com o fato de que cada vez mais se torna possível produzir, por exemplo, maior quantidade de alimentos e outros bens com um investimento menor de recursos, através da evolução da tecnologia e da ciência, que além de trazerem inúmeras soluções, permitem compreender com mais profundidade os sistemas naturais (DONAIRE, 1999 apud GOMES, 2012). Dentro dessa abordagem, está, também, o tratamento e a reciclagem de produtos residuais, associados à necessidade de se atribuir a responsabilidade sobre os impactos causados e sua atenuação aos próprios geradores.

A sustentabilidade e o desenvolvimento sustentável, então, questionam os padrões de produção e de consumo buscando desenvolver uma nova visão de desenvolvimento que considera a associação entre os três pilares, conforme citado anteriormente: meio ambiente, economia e sociedade (JOHN, 2000). Em 2015, líderes mundiais reuniram-se na sede da ONU e decidiram um plano de ação para erradicar a pobreza, proteger o planeta e garantir que as pessoas alcancem a paz e a prosperidade: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, a qual contém o conjunto de 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, listados a seguir, que devem ser implementados por todos os países do mundo até 2030 (NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL, 2015).

- 1) Acabar com a pobreza em todas as suas formas, em todos os lugares;
- 2) Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável;
- 3) Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades;
- 4) Assegurar a educação inclusiva, equitativa e de qualidade, e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos;
- 5) Alcançar a igualdade de gênero e empoderar todas as mulheres e meninas;
- 6) Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos;
- 7) Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos;
- 8) Promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, emprego pleno e produtivo e trabalho decente para todos;
- 9) Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação;
- 10) Reduzir a desigualdade dentro dos países e entre eles;

- 11) Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis;
- 12) Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis;
- 13) Tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos;
- 14) Conservação e uso sustentável dos oceanos, dos mares e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável;
- 15) Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade;
- 16) Promover sociedades pacíficas e inclusivas para o desenvolvimento sustentável, proporcionar o acesso à justiça para todos e construir instituições eficazes, responsáveis e inclusivas em todos os níveis;
- 17) Fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável.

Percebe-se, dessa forma, que o presente estudo tem potencial para contribuir com o cumprimento dos objetivos propostos pela Agenda 2030, estando diretamente relacionado especialmente ao 6, ao 9, ao 11, ao 12 e ao 13, uma vez que busca viabilizar o desenvolvimento sustentável nas cidades e moradias e disseminar o conhecimento acerca de alternativas sustentáveis que podem ser aplicadas no dia-a-dia das pessoas.

Para medir o desenvolvimento sustentável de determinada comunidade, atualmente, já existem diversas ferramentas que determinam os impactos gerados pelas pessoas, de acordo com os hábitos adotados pelas mesmas. Uma delas é a Pegada Ecológica, que está descrita detalhadamente no item a seguir.

3.2. PEGADA ECOLÓGICA

Em 1996, foi proposta por Wackernagel e Rees uma ferramenta para medir e comunicar o desenvolvimento sustentável, a qual foi denominada *Ecological Footprint*, termo traduzido como Pegada Ecológica (PE) (VAN BELLEN, 2002). Ou seja, a PE é uma metodologia de contabilidade ambiental que permite avaliar a demanda humana por recursos naturais renováveis com a capacidade regenerativa do planeta (BECKER et al., 2012). Ainda, representa o espaço ecológico correspondente para que um determinado sistema se sustente. Sua metodologia contabiliza os fluxos de matéria e energia que entram e saem de um sistema

econômico e converte estes fluxos em área correspondente de terra ou água (VAN BELLEN, 2002).

Em outras palavras, a PE calcula a extensão territorial necessária para manter um sistema econômico ou uma determinada população de acordo com seus hábitos, relacionados especialmente a tendências de consumo (energia, tecnologia utilizada, recursos naturais, moradia, alimentação, locomoção) e à produção de resíduos. De acordo com Van Bellen (2002), o tamanho da área requerida depende das receitas financeiras, da tecnologia existente, dos valores predominantes dentro do sistema e de fatores socioculturais.

O cálculo da PE é feito através do somatório das áreas necessárias para fornecer os recursos renováveis utilizados com aquelas que são ocupadas por infraestrutura e das áreas necessárias para a absorção dos Gases de Efeito Estufa, lançados na atmosfera (BECKER et al, 2012). Sendo assim, esta ferramenta serve como um indicador da pressão humana sobre o meio ambiente, uma vez que mede a capacidade dos ecossistemas de atenderem às demandas do homem. De acordo com Becker et al. (2012), esta capacidade que os ecossistemas possuem de produzir recursos renováveis para o consumo humano e absorver os resíduos gerados pelas suas atividades é chamada de biocapacidade.

A PE é expressa em hectares globais (gha), sendo que um hectare global representa um hectare de produtividade média mundial para terras e águas produtivas em um ano (BECKER et al., 2012). Então, o objetivo principal da PE é avaliar se o consumo e a biocapacidade estão em equilíbrio.

Ainda de acordo com Becker et al. (2012), a humanidade passou a consumir mais do que o planeta naturalmente oferece desde meados da década de 1980 e se mantém acima deste limite desde então. Em 2012, a média da PE mundial atingia o valor de 2,7 gha por pessoa, enquanto a biocapacidade disponível era de 1,8 gha por pessoa, o que representa um déficit de 0,9 gha por pessoa. Isto quer dizer que havia uma excedência de 50% da capacidade de regeneração do planeta. A PE média brasileira apresentava um valor de 2,9 gha por habitante. Com a evolução, Keeler e Burke (2010) afirmam que a PE da humanidade é a maior desde que se tem conhecimento, indicando que os seres humanos precisam do equivalente a 1,2 planetas para manutenção do seu estilo de vida.

Se os hábitos de consumo da população mundial se mantiverem, estima-se que, em 2050, serão necessários mais de dois planetas para suprir estas demandas (BECKER et al., 2012). Conseqüentemente, haverá esgotamento de recursos e de áreas utilizadas como sumidouros e

aterros para disposição de resíduos sólidos, por exemplo, resultando em mais e maiores impactos negativos sobre os ecossistemas e a biodiversidade.

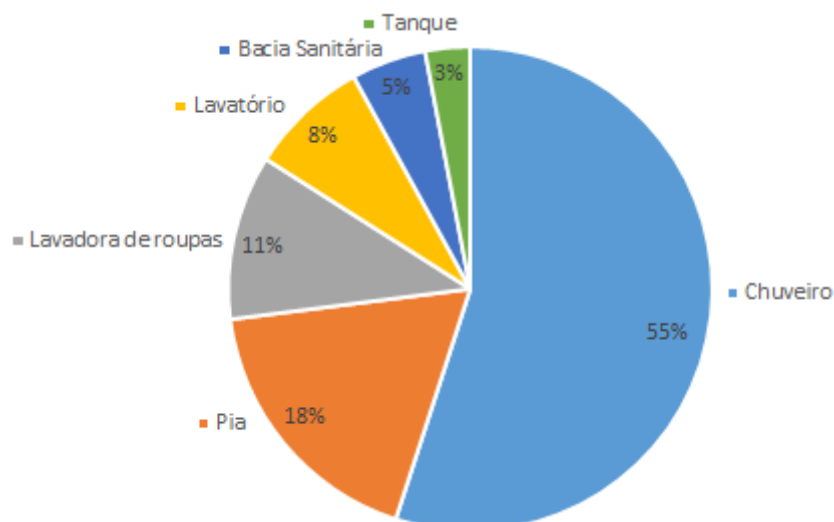
Dentro deste contexto, políticas locais de conservação de energia e utilização sustentável de recursos são fundamentais, tornando-se cada vez mais importantes para planejamentos de longo prazo. Assim, tanto decisões locais referentes a projetos de edificações com viés mais sustentável, quanto utilização planejada do solo e de transportes, podem ter impactos regionais e, inclusive, globais (KEELER e BURKE, 2010). Portanto, para que o cálculo da PE se torne uma ferramenta de estímulo à adoção de práticas mais sustentáveis, a mudanças de hábitos de consumo e a melhorias nas cadeias produtivas, a população deve entender o seu significado e desenvolver estratégias de mitigação de práticas nocivas, juntamente com o setor público (BECKER et al., 2012).

3.3. PADRÕES DE CONSUMO

O consumo de água e demais recursos de uma população varia de região para região, de cidade para cidade e, até mesmo dentro de uma mesma localidade, pode ser bastante diversificado de um setor de distribuição para o outro (DIAS, 2007). Para o referido autor, os principais fatores associados à definição do consumo são os tipos de residências, o uso do solo da região, as características das instalações hidráulicas e equipamentos individuais, o nível socioeconômico dos consumidores, o preço da água, as condições climáticas do local, entre outros.

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), 110 litros de água é a média ideal de consumo para atender às necessidades de uma pessoa diariamente. No ano de 2016, o consumo de água potável médio no Rio Grande do Sul foi de 147,66 litros por pessoa, correspondendo a 34% mais do que o considerado adequado (CHAGAS, 2018 apud SNIS, 2018). A distribuição do consumo de água em uma unidade residencial familiar é apresentada na Figura 2.

Figura 2 - Distribuição do consumo de água em unidade residencial unifamiliar.



(Fonte: adaptado de ROCHA et al., 1999 apud LAGEMANN, 2012)

Entretanto, conforme Okamura (2006) e Roaf (2006), atualmente os vasos sanitários são responsáveis pela maior parte do consumo doméstico de água - geralmente entre 30% e 40%. As bacias sanitárias de válvula (Figura 3) utilizam, em média, 30 litros por descarga (OKAMURA, 2006) - uma vez que liberam água durante todo o tempo de seu acionamento. Apesar de estas serem consideradas de maior eficiência na limpeza das bacias, caíram em desuso devido ao elevado consumo atribuído ao seu funcionamento. Em seu lugar, sistemas de descarga com caixa acoplada vêm sendo utilizados (Figura 4). A estes, está associado um consumo de aproximadamente 6 litros de água por descarga (OKAMURA, 2006). Ainda segundo o referido autor, pode-se pressupor que uma pessoa aciona a descarga sanitária em média 4 vezes ao dia. No Brasil, o consumo de água nos vasos sanitários possui uma média de 12 litros de água por descarga, o que é considerado elevado (CHAGAS, 2018).

Um chuveiro convencional pode descarregar água entre 0,3 e 0,5 litros por segundo (ROAF, 2006). Já as máquinas de lavar roupa possuem um consumo muito diversificado, dependendo de sua eficiência. O volume máximo permitido por operação, no Reino Unido, está entre 150 e 180 litros (ROAF, 2006). De acordo com Melo e Neto (1988) citado por Dornelles (2012), para a irrigação de jardins, quando não se conhece o tipo de solo e vegetação, atribui-se um consumo de água de 1 a 2 litros por metro quadrado sempre que não houver precipitação significativa no dia.

Figura 3 - Bacia sanitária de válvula.



(Fonte: MARIDO, sd)

Figura 4 - Bacia sanitária com caixa acoplada.



(Fonte: MAGAZINE LUIZA, sd)

Ademais, de acordo com o Atlas Esgoto (ANA, 2017), são geradas cerca de 9,1 mil toneladas de esgoto no Brasil por dia, o que representa em torno de 80% da água que é consumida. Desses, 43% são coletados e tratados, 12% possuem soluções individuais (como fossas sépticas), 18% possuem coleta sem posterior tratamento para disposição e 27% não possuem nem coleta nem tratamento. Ou seja, 45% não possui tratamento considerado adequado. Este cenário corrobora o fato de que o elevado consumo de água, além de contribuir para a redução da quantidade do recurso, traz consequências ainda mais profundas, relacionadas especialmente à degradação da qualidade dos corpos hídricos que, por sua vez, reduzem a disponibilidade hídrica e prejudicam as condições ecossistêmicas dos mananciais.

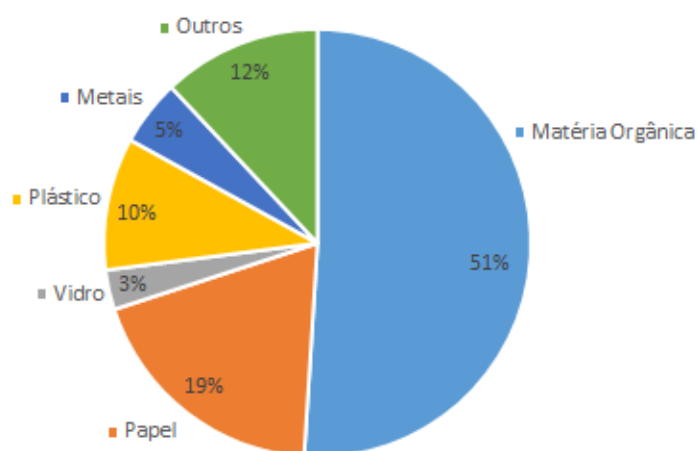
Além da crucial questão envolvendo o consumo de água nas habitações, os resíduos sólidos também são fonte de preocupação e de incremento da pegada ecológica. A geração total diária de resíduos per capita no Brasil, de acordo com da Silva et al. (2016), é de 1,062 kg. Chaves e Souza (2013) diz que:

Verifica-se que a coleta regular no Brasil apresentou um volume de 49 milhões de toneladas por ano; no Rio Grande do Sul ela chegou a 1,6 milhão de toneladas por ano em 2009. No Brasil, isto equivale a 97,6% da coleta total e no Rio Grande do Sul a 95,5%. Quanto à coleta seletiva, no Brasil ela alcançou 1,2 milhão de toneladas por ano (2,4% do total) e no Rio Grande do Sul chegou a 78 milhões de toneladas por ano (4,71% do total).

Segundo o mesmo autor (CHAVES e SOUZA, 2013), a destinação dos resíduos sólidos de 70 municípios do Rio Grande do Sul, os quais participaram da pesquisa da Secretaria Nacional

de Informações sobre Saneamento (SNIS) de 2009, é composta por 54,29% de disposição em aterros sanitários, 31,23% em aterros controlados e 14% em lixões. Referente à composição dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), esta é bastante variável. Entretanto, a fração de orgânicos é majoritária (RUSSO, 2003), representando mais de 50% do total de resíduos coletados e dispostos em aterros sanitários (JACOBI e BENSEN, 2011; GABIATTI et al., 2016). A Figura 5 demonstra o resultado de uma pesquisa sobre a composição dos RSU do Rio Grande do Sul.

Figura 5 - Composição dos RSU no Rio Grande do Sul.



(Fonte: adaptado de GABIATTI et al., 2016)

Dessa forma, devido aos elevados consumo de água e geração de resíduos per capita, e à crescente população - os quais incrementam significativamente as necessidades por recursos -, novos equipamentos e abordagens precisam ser e já vêm sendo desenvolvidos e implementados com o intuito de reduzir a pegada ecológica das comunidades. Segundo Chagas (2018), estima-se que possa haver uma economia de 25% no consumo de água potável do Rio Grande do Sul caso sejam adotadas medidas de combate a vazamentos e excesso de consumo nos vasos sanitários, por exemplo. O item a seguir discorre sobre novas tecnologias para promover a sustentabilidade das habitações.

3.4. ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS PARA RESIDÊNCIAS

Conforme relatado anteriormente, o aumento na demanda por recursos naturais evidencia a necessidade de serem desenvolvidas novas técnicas e equipamentos que consumam menos água, energia e demais requisitos para seu efetivo funcionamento. O objetivo principal dessas tecnologias relaciona-se ao suprimento das necessidades de toda a população, além da

primordialidade de se promover a conservação ambiental através da redução da pegada ecológica.

3.4.1. Gestão da Água

A água é um recurso fundamental para a sobrevivência e bem-estar de todos os seres. O desperdício, associado ao aumento da demanda, à degradação de sua qualidade e, conseqüentemente, à falta de disponibilidade de forma rápida e segura estão se tornando questões cada vez mais problemáticas para a sociedade. Conforme Santos (2002) cabe o grande desafio: “como atender à crescente demanda da universalização do acesso à água quando o próprio insumo tende à escassez?”.

O ciclo hidrológico envolve a transformação do vapor d'água presente na atmosfera que, sob determinadas condições meteorológicas, condensa-se e forma micro gotículas de água que se mantêm suspensas no ar devido à turbulência natural, as quais tendem a criar condições de precipitação, especialmente sob a forma de chuva (SILVEIRA, 1993 apud BUFFON, 2010). A urbanização, de modo geral, afeta o ciclo natural da água, uma vez que retira a vegetação existente e impermeabiliza grandes áreas, alterando fortemente os volumes de escoamento, evaporação e infiltração (MANO, 2004). De acordo com Tucci (2007) apud Buffon (2010), cada novo prédio construído aumenta a vazão prévia natural em várias vezes, transportando essa vazão para a rede pública em um tempo menor do que ocorria anteriormente, o que eleva os picos de escoamento e, muitas vezes, sobrecarrega as redes, acabando por causar inundações e alagamentos. Ou seja, o crescimento populacional, que naturalmente provoca o aumento na demanda por água, é também responsável por impermeabilizar o solo, contribuindo para incrementar os problemas de drenagem urbana (DIAS, 2007).

Com isso, o abastecimento de água potável em grandes centros urbanos constitui um desafio, tanto pela quantidade envolvida quanto pela qualidade (MANO, 2004). Percebe-se, dessa forma, um desenvolvimento na legislação que faz referência ao gerenciamento dos recursos hídricos, obrigando, por exemplo, alguns tipos de estabelecimentos e edificações a implementarem projetos de aproveitamento de água da chuva. Neste sentido, cita-se a Lei nº 10.506 de 2008, da cidade de Porto Alegre, que instituiu o Programa de Conservação, Uso Racional e Reaproveitamento das Águas, o qual objetiva a promoção de medidas necessárias à conservação, à redução do desperdício e à utilização de fontes alternativas para a captação e o aproveitamento da água nas edificações, bem como a conscientização dos usuários sobre a sua importância para a vida. Já o Decreto nº 18.611 de 2014, também da cidade de Porto

Alegre, regulamenta o controle da drenagem urbana e descreve as características de imóveis em função das quais deve-se prover a implantação de reservatórios de amortecimento pluvial, com o objetivo de linearizar a descarga enviada ao sistema público de drenagem pluvial, amenizando os impactos provenientes da impermeabilização de superfícies.

Evitar o desperdício e fazer uso racional da água está deixando de ser uma preocupação ambientalista e passando a ser também uma preocupação econômica (DIAS, 2007). Nesse sentido, a fim de reduzir os citados impactos, observa-se uma tendência de utilização da água de forma mais consciente, com a adoção de técnicas de reaproveitamento e de novas tecnologias em aparelhos que diminuem o consumo. Dentre essas, pode-se citar as torneiras arejadoras, as quais, segundo os fabricantes, podem economizar até 75% do recurso; as caixas acopladas com descarga dupla, que permitem escolher acerca da utilização de 3 ou 6 litros de água para descarga; os reguladores de vazão; os hidrômetros individuais, entre outros (RAMOS, 2016; BUFFON, 2010). Portanto, a adequada gestão da água, através de hábitos de consumo conscientes e da adoção de modernos equipamentos que evitam desperdício e promovem o melhor aproveitamento do recurso, é possível e facilmente acessível. A seguir são abordados com maior profundidade alguns instrumentos dentro desta temática.

3.4.1.1. Aproveitamento da Água da Chuva

A captação de água da chuva, com o intuito de reduzir tanto os impactos da urbanização (construção civil) como o incremento no consumo de água potável, é uma valiosa solução que promove a sustentabilidade das cidades (BUFFON, 2010; MORÉS, 2006). Realizar a gestão da utilização da água com diferentes níveis de qualidade para atendimento das variadas necessidades existentes através de fontes alternativas de água, como a da chuva, promove a otimização do consumo (PIO et al., 2005). De acordo com Pio et al. (2005), a água da chuva pode ser utilizada desde que haja controle de sua qualidade de acordo com a finalidade pretendida e verificação da necessidade de tratamento específico, garantindo que a saúde dos usuários e a vida útil dos sistemas não sejam comprometidas.

Atualmente a utilização da água de chuva acontece em vários países de diversos continentes onde, em muitos deles são oferecidos benefícios para a construção de sistemas para captação e armazenamento da água da chuva como nos Estados Unidos, Alemanha e Japão. No Estado da Califórnia, por exemplo, são oferecidos financiamentos para os interessados em colocar sistemas de captação e aproveitamento da água de chuva nas suas residências. Em Hamburgo, tal incentivo é oferecido gratuitamente também com o objetivo de conter picos de enchente, irrigação de jardins, descarga de bacias sanitárias entre outros fins não potáveis (JAQUES, 2005).

Jaques (2005) relata que, “no III Fórum Mundial da Água, que aconteceu em 2004 na cidade de Kyoto - Japão, especialistas da ONU pediram que outros países sigam o exemplo da China”, que construiu tanques para armazenamento da água de chuva, a fim de fornecer água potável para cerca de 15 milhões de pessoas, além de utilizar há anos a água de chuva para plantações. O Brasil, por sua vez, possui o Programa de Formação e Mobilização Social para a Convivência no Semi-árido: Um Milhão de Cisternas Rurais – P1MC, cujo objetivo é fornecer cisternas para armazenamento da água da chuva a 1.000.000 de famílias rurais do semi-árido brasileiro, além da mobilização social e educação ambiental da população. O programa abrange os estados da região Nordeste onde o clima semi-árido possui maior intensidade. Em 2005, já haviam sido construídas 12.400 cisternas de 16.000 litros cada uma, a serem empregadas quase que exclusivamente para usos domésticos, inclusive para cozinhar e beber (JAQUES, 2005).

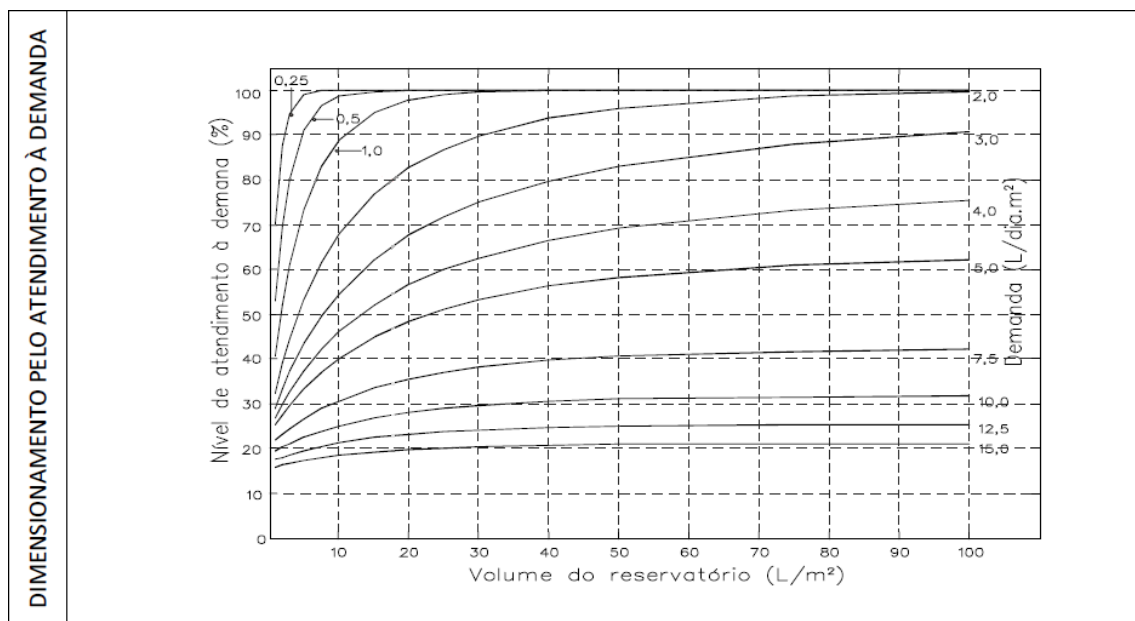
Para um projeto de captação, de acordo com Zuazo (2017), “é preciso saber qual é o perfil de consumo, a área de captação e o perfil da chuva no local. Em um residência, a implantação custa até 4 mil reais, e gera uma economia de 35% a 55% no consumo de água”. Em São Paulo, por exemplo, um sistema inteligente de automação residencial para aproveitamento da água da chuva foi desenvolvido e instalado por um cidadão. Sua principal inovação é o duplo reuso - é possível, por exemplo, encher a banheira com a água da chuva e, após o banho, uma conduzir a água do ralo para *sprinklers* distribuídos pelo jardim através de uma canalização. A instalação do sistema teve custo aproximado de 4 mil reais e permite uma economia de em torno de 60 mil litros de água por ano, com uma redução de até 300 reais no custo da água potável (BERNARDES, 2017).

Ainda, o dimensionamento do reservatório de água da chuva é extremamente importante dentro do projeto para que se busque atingir da melhor forma o atendimento à demanda por água não potável da habitação, evitando a oneração do investimento pelo superdimensionamento ou a baixa disponibilidade hídrica para os padrões de consumo na residência (subdimensionamento). Para realizar este dimensionamento, existem diversas metodologias que podem ser aplicadas, tais quais: Método de Rippl, Método da Simulação, Método de Azevedo Neto, Método Prático Alemão, Método Prático Inglês e Método Prático Australiano, conforme a NBR 15.527 (ABNT, 2007). Entretanto, estes métodos costumam gerar resultados bastante divergentes entre si, mesmo com a utilização de premissas idênticas para a realização dos cálculos, além de o dimensionamento sofrer influência de aspectos diversos como demanda, regime pluviométrico, área de captação, dentre outros

(DORNELLES, 2012). Observando estes fatos, Dornelles (2012) detectou “a necessidade de estabelecer uma maneira padrão de dimensionamento do reservatório de armazenamento de água da chuva”.

Para isso, propôs uma técnica de dimensionamento por meio de ábacos obtidos da simulação numérica pelo método de Monte Carlo - bastante utilizado na hidrologia, pois dimensiona o reservatório com base na simulação do mesmo, sustentado por séries sintéticas de precipitação, o que confere resultados menos sensíveis a períodos anômalos e fornece informações a respeito da eficiência de atendimento à demanda (DORNELLES, 2012). O Método da Simulação (ABNT, 2007) foi utilizado para a simulação dos reservatórios, por balanço de massa, com as considerações de o reservatório apresentar-se inicialmente vazio e de se adicionar um coeficiente de descarte da primeira água da chuva, uma vez que esta possui qualidade bastante inferior. Os ábacos foram gerados para todas as capitais estaduais brasileiras e, a seguir, está apresentado aquele que representa a cidade de Porto Alegre (Figura 6).

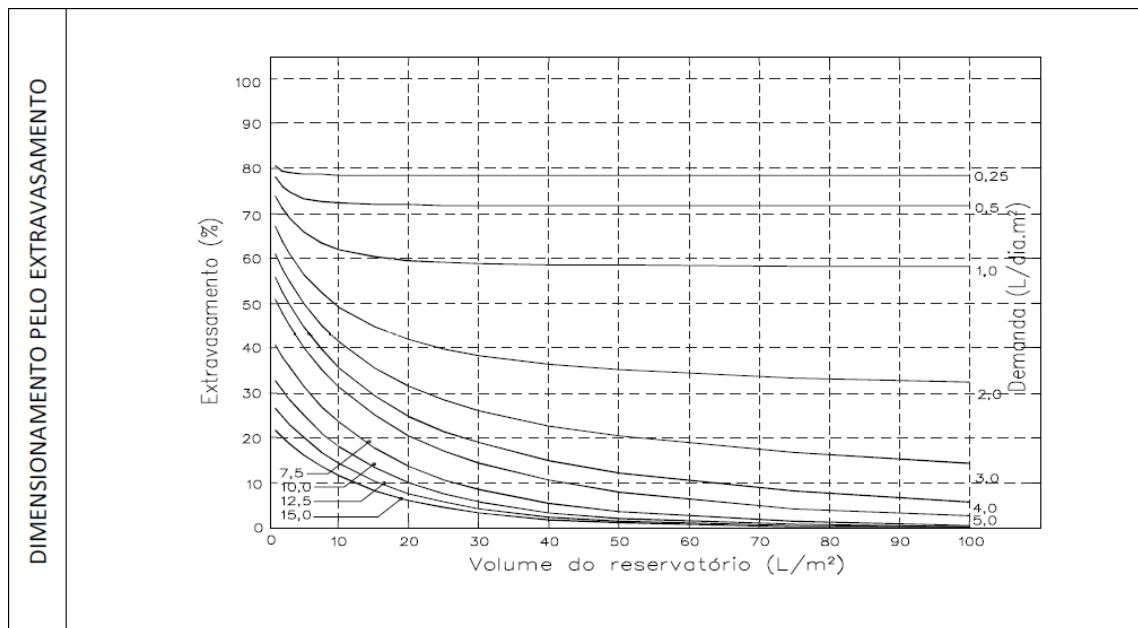
Figura 6 - Ábaco de dimensionamento de reservatório de água da chuva para a cidade de Porto Alegre pelo atendimento à demanda.



(Fonte: DORNELLES, 2012)

O Método dos Ábacos permite que, a partir de informações de demanda diária e de área de captação de chuva, seja determinado o volume necessário de reserva para que o sistema de aproveitamento pluvial tenha determinado nível de atendimento à demanda (Figura 6) ou de extravasamento (Figura 7) (DORNELLES, 2012).

Figura 7 - Ábaco de dimensionamento de reservatório de água da chuva para a cidade de Porto Alegre pelo extravasamento.



(Fonte: DORNELLES, 2012)

Sendo assim, a substituição de fontes de água e, com isso, a poupança de grandes volumes de água potável através da utilização de águas originárias da chuva ou até mesmo de efluentes tratados para atendimento de demandas cujas finalidades dispensam água com padrão de potabilidade (DIAS, 2007) é uma alternativa bastante razoável no incremento da sustentabilidade das construções.

3.4.1.2. Chuveiro Ecológico

Outro equipamento desenvolvido com o objetivo de reduzir o impacto nas fontes de água e energia (EcoD, 2012) é o *Chuveiro a gás NC*, também chamado de Chuveiro Ecológico. De acordo com Motta (2011), a inovação está disponível em modelo portátil e possui fácil manuseio e instalação, uma vez que só precisa ser pendurado para funcionar, podendo inclusive ser utilizado em locais sem disponibilidade de energia elétrica (ATA, sd). Além disso, funciona através da gravidade, não necessitando de pressão da água nem de caixas d'água com altura pré-determinada, ou de misturadores da água, sendo regulado através de sua vazão ou da altura da chama – o que evita o desperdício (ATA, sd). A altura mínima do reservatório acima do chuveiro é de 0,3 metros, enquanto que a vazão varia de 1,8 até 8 litros por minuto (ATA, sd).

Conforme Motta (2011), “a tecnologia do chuveiro a gás viabiliza o uso de energia alternativa limpa” emitindo quantidades praticamente nulas de gases queimados ao ambiente, uma vez

que funciona segundo um sistema de resfriamento de gases interno. Este sistema faz com que “os gases emitidos no processo de combustão, especialmente o monóxido de carbono, se precipitem e fiquem retidos no interior do aparelho, dentro de uma serpentina, na forma líquida” (MOTTA, 2011).

O dispositivo é extremamente econômico, consumindo no máximo 120 gramas de gás por hora, o que representa um quarto do consumo dos aquecedores convencionais, e podendo ser até 94% mais econômico que chuveiros elétricos similares (ATA, sd; MOTTA, 2011). O consumo do botijão de gás padrão de 13 kg é considerado muito baixo, durando em média de 120 a 150 dias com banhos diários de uma hora (MOTTA, 2011).

Figura 8 - Chuveiro a gás NC.



(Fonte: ATA, sd)

3.4.1.3. Vaso Sanitário de Meio Litro

Conforme mencionado no item 3.3, o sistema de bacia sanitária adotado comumente nas unidades residenciais familiares (o vaso sanitário com caixa acoplada) utiliza, em média, 6 litros de água para cada acionamento de descarga. Entretanto, já existe no mercado um sistema de bacia sanitária que utiliza apenas 0,5 litros de água por descarga, com eficiência adequada de limpeza. De acordo com Ecotelhado (2018a; 2018b), o sistema é a prova de odores e mais higiênico do que o sistema convencional de sifão, uma vez que é acionado por uma válvula presente na parte inferior do vaso sanitário, próxima ao piso, que pode ser pressionada com os pés (Figura 9) e que funciona sob a ação da gravidade. A saída da bacia sanitária para condução do efluente é fechada através de uma tampa que se abre ao ser dada a descarga - conforme verificado na Figura 10, permitindo, dessa forma, a remoção dos

excrementos e limpeza das paredes do equipamento pela corrente de água que flui a partir da parte superior do mesmo, próximo à tampa.

Figura 9 - Vaso sanitário de meio litro.



(Fonte: ECOTELHADO, 2018a)

Figura 10 - Destaque para o interior do vaso sanitário de meio litro.



(Fonte: próprio da autora)

3.4.1.4. Tratamento de Esgoto Doméstico

Conforme relatado anteriormente, as condições de coleta e tratamento de esgotos domésticos atuais constituem um grave problema para o país, uma vez que o despejo de esgoto nos corpos hídricos sem tratamento gera impactos na saúde humana, animal e vegetal, além de poluição e degradação dos ecossistemas naturais e depredação do ambiente externo. Dessa forma, a assimilação da responsabilidade sobre o esgoto por parte do próprio gerador é uma solução realística e que diminui a pegada ecológica das populações. Atualmente, além da fossa séptica, existem outras formas de tratar o efluente sanitário de modo sustentável em escala residencial, as quais estão descritas a seguir.

3.4.1.4.1. Ecoesgoto

O Ecoesgoto é um sistema de tratamento de efluentes biológicos, conhecido como vermifiltro, que foi desenvolvido para ser utilizado em associação com o Vaso Sanitário de Meio Litro, eliminando a necessidade de conexão à rede pública de esgoto (ECOTELHADO, 2018a). É constituído de uma única câmara que varia de tamanho de acordo com o projeto e o volume

de efluente a ser tratado. O sistema de tratamento é composto de camadas sucessivas que asseguram a presença de oxigênio e promovem a retenção da matéria orgânica sólida (MO). A degradação dos resíduos sólidos ocorre com a atuação de minhocas que digerem a MO e garantem a permeabilidade do sistema. Ainda, na parte inferior da câmara, é colocado um piso elevado que separa os líquidos da MO, que, após transformação em adubo, fica retida em uma gaveta para ser removida (ECOTELHADO, 2018b).

Como comentado anteriormente, o Ecoesgoto permite que o sistema seja independente da rede pública de esgotos. O tratamento se torna completo quando o efluente líquido oriundo dos sanitários é bombeado para uma *wetland* construída (banhado construído) (Figura 11 e Figura 12, registradas em visita técnica ao fabricante), onde será tratado com a utilização de plantas macrófitas. Esse efluente tratado é evaporado para o ambiente de forma limpa e sem odores (ECOTELHADO, 2018b). Um sistema de *wetland* construído de aproximadamente um metro de diâmetro supre a demanda de utilização do vaso sanitário de meio litro para até 12 pessoas. Segundo o fabricante, o sistema é indicado para utilização sempre associado com o vaso sanitário de meio litro para que não haja excesso de volume de água para as minhocas na câmara e na *wetland* construída, uma vez que as plantas necessitam de um determinado período de tempo para absorção da água e conseqüente tratamento do efluente.

Figura 11 - Área da *Wetland* construída do Ecoesgoto, onde ocorre tratamento completo dos resíduos sanitários.



(Fonte: próprio da autora)

As principais vantagens do sistema completo (Vaso Sanitário de Meio Litro associado ao Ecoesgoto), segundo o fabricante, estão relacionadas: ao custo da conta da água, uma vez que em residências, o sistema em questão pode reduzir em 30 a 40% os gastos com água e em 70 a 80% no caso de prédios comerciais; à não produção de lodo e odores; à possibilidade de processar gorduras e óleos vegetais, além de papel higiênico e outros resíduos orgânicos passíveis de compostagem e à baixa necessidade de manutenção (ECOTELHADO, 2018b). Ainda, vale ressaltar a grande vantagem de não transmitir a responsabilidade sobre os resíduos gerados para o serviço público, diminuindo, de forma sustentável, os impactos ao meio ambiente e à sociedade. Em contrapartida, para implantação do sistema é necessário ter uma área externa livre disponível para o projeto, o que constitui uma desvantagem para o projeto. Ainda, existem dificuldades de implantação em projetos já concluídos, necessitando de adaptações nas canalizações e nas bacias sanitárias.

Figura 12 - Área da *Wetland* construída incorporada no ambiente biofílico.



(Fonte: próprio da autora)

Apesar de esta ser uma tecnologia desenvolvida recentemente, especialmente pelo reduzido gasto de água na descarga, há registros de utilização de banheiros de compostagem desde os anos 1930. Neles, as águas residuais costumavam ser coletadas em uma fossa localizada sob o vaso sanitário, geralmente em um porão. Havia a necessidade de se adicionar MO à fossa, como serragem, por exemplo. No processo de compostagem, os micro-organismos decompunham a mistura com a utilização de calor, oxigênio, umidade e MO, formando um adubo como produto (ROAF, 2006).

3.4.1.4.2. Telhado Verde / Ecotelhado

O Telhado Verde consiste em um telhado que é recoberto por vegetação. De acordo com Baldessar (2012), por longos períodos da história da arquitetura estes vêm sendo utilizados, porém com objetivos diferentes: primeiramente, suas motivações foram estéticas; posteriormente, foram vernaculares, ecológicas e, por fim, sustentáveis. Atualmente, devido ao interesse em tornar as construções mais sustentáveis, percebe-se um crescente interesse em implantar telhados verdes nas cidades, utilizando-os como um mecanismo de eficiência energética, de conforto térmico e acústico, de aproximação do contato com a natureza e, também, como um potencial redutor do escoamento das águas pluviais. A Figura 13 apresenta um exemplo de Telhado Verde em uma edificação, com a finalidade de promover conforto térmico, acústico, contato com a natureza, purificação do ar pela atuação da vegetação, além da questão estética e de bem-estar.

Figura 13 - Exemplo de Telhado Verde em uma edificação.



(Fonte: próprio da autora)

Como já mencionado, a urbanização e a conseqüente expansão das áreas impermeáveis resulta em uma diminuição da capacidade de infiltração do solo, acarretando em um aumento acentuado no escoamento superficial de águas pluviais. A presença de picos de vazão, por sua vez, aumenta a frequência e a gravidade de inundações, intensifica processos erosivos e, com isso, afeta também a qualidade dos corpos d'água das respectivas bacias hidrográficas (COSTA et al., 2012).

Contrariamente à abordagem convencional, na qual os telhados são projetados com um ângulo de inclinação que visa à rápida condução de água para fora de sua superfície, os telhados verdes têm uma proposta exatamente contrária, de retenção das águas. É preferível, nestes casos, que as superfícies de cobertura das construções sejam horizontais, a fim de que um maior volume possa ser retido.

O Ecotelhado é considerado a evolução dos telhados verdes convencionais, pois pode integrar as características de um jardim suspenso com a captação da água da chuva, com o tratamento de águas cinzas, com a captação da energia solar, além de outras possíveis aplicações (ECOTELHADO, 2018c). Recomenda-se que seja instalado em uma laje plana utilizando impermeabilização de PVC (policloreto de vinila), pois este tipo de geomembrana possui grande maleabilidade, boa resistência mecânica, impermeabilidade segura e facilidade de aplicação. Desta forma, capacita a estrutura para recebimento das próximas camadas, onde se desenvolverá a vegetação, além de possibilitar a formação de uma cisterna para captação de água da chuva e proteção antirraízes (ECOTELHADO, 2018c).

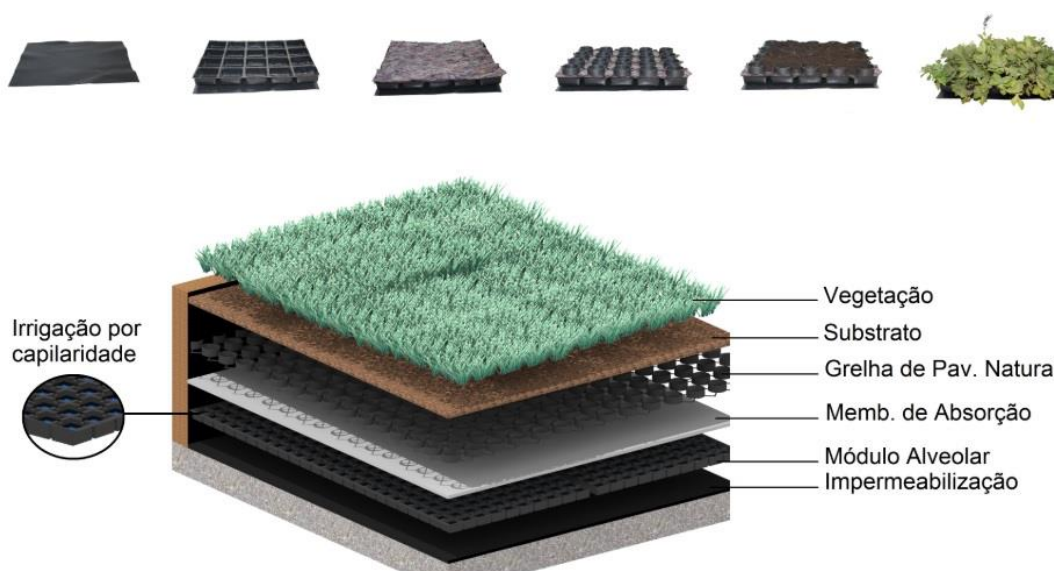
Os sistemas convencionais costumam utilizar grandes camadas de terra ou substrato, o que pode ser um inconveniente devido ao peso da estrutura. O Ecotelhado evita o acúmulo desnecessário de sobrepeso, pois armazena a água na própria laje, embaixo da vegetação. Dessa forma, pode ser classificado como um sistema semi-hidropônico, uma vez que irriga as plantas subsuperficialmente, utilizando o mínimo possível de substrato (ECOTELHADO, 2018c).

O tratamento de águas residuais com a utilização de plantas ocorre por um “complexo arranjo de água, substrato, raízes e um grande conjunto de micro-organismos que se inter-relacionam” (ZANELLA, 2008) e promovem a melhoria da qualidade das águas. As raízes das plantas possuem elevada capacidade de extração de nutrientes dissolvidos ou suspensos na água, os quais tendem a ficar retidos na sua superfície, além da enorme capacidade de absorção de carbono e devolução de oxigênio ao elemento hídrico.

Já foram desenvolvidos diversos sistemas de Ecotelhado, os quais possuem funcionalidades diferentes e, principalmente, características de aplicação diferentes. Isso quer dizer que, dependendo do tipo de construção e dos objetivos desta, deve-se escolher um ou outro tipo de sistema (cujos principais estão descritos a seguir), para que seja garantida a segurança da estrutura e sua eficiência.

- *Sistema Modular Alveolar Grelhado*: De acordo com o fabricante (ECOTELHADO, 2018d), esta é considerada a melhor opção para coberturas inclinadas, sendo que pode ser aplicada em telhados com inclinação de até 20°. Tem como principal objetivo proporcionar uma cobertura vegetada para conforto térmico do ambiente interno e maior convívio com a natureza. Caracteriza-se pela presença de membrana alveolar, responsável pela reserva de água para vegetação, e de uma grelha tridimensional de PEAD (polietileno de alta densidade), que retém o substrato dentro de seus círculos, não permitindo que este escoe devido à inclinação (ECOTELHADO, 2018e). A Figura 14 apresenta um esquema de montagem do sistema, com seus principais componentes e camadas.

Figura 14 - Esquema de montagem do Sistema Modular Alveolar Grelhado.



(Fonte: ECOTELHADO, 2018e)

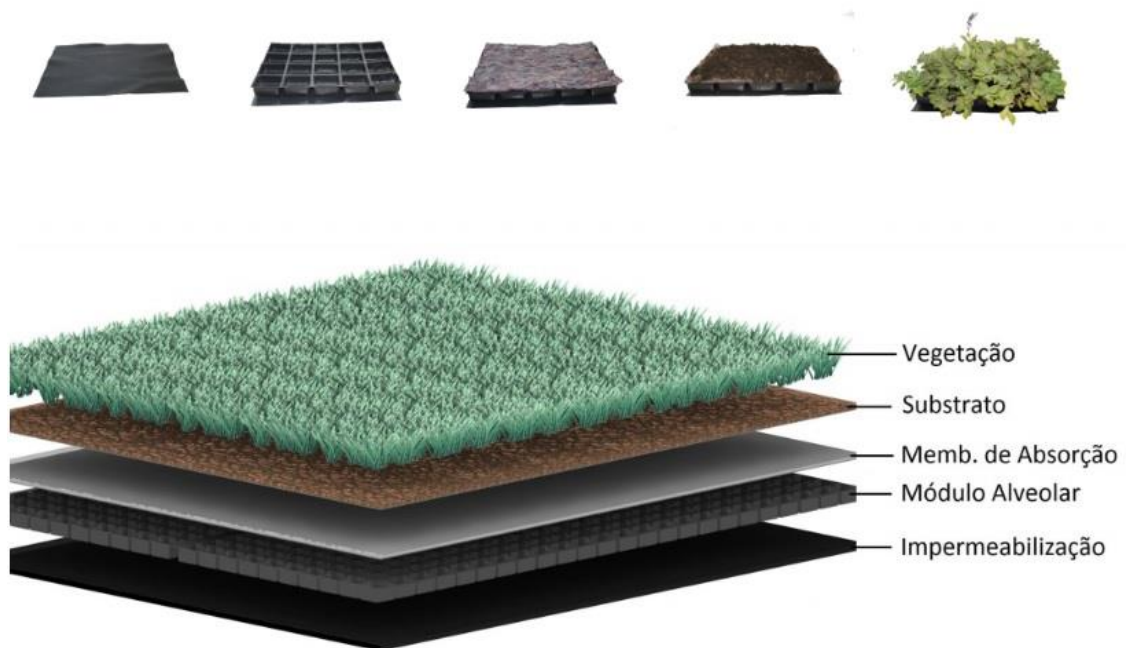
- *Sistema Alveolar Leve*: Este tipo de sistema comporta uma inclinação de telhado de até 10° (ECOTELHADO, 2018f). Caracteriza-se pela presença de membrana alveolar, a qual é responsável pela reserva de água para vegetação (Figura 15). Também possui como principais funcionalidades o conforto térmico interno do ambiente e o convívio com a natureza (ECOTELHADO, 2018f). A Figura 15 destaca a membrana alveolar responsável pela reserva de água para vegetação e a Figura 16 apresenta um esquema de montagem para o sistema, com seus principais componentes e camadas.

Figura 15 - Membrana alveolar responsável pela reserva de água para vegetação.



(Fonte: próprio da autora)

Figura 16 - Esquema de montagem do Sistema Alveolar Leve.



(Fonte: ECOTELHADO, 2018g)

- *Sistema Laminar Alto*: Segundo o fabricante (ECOTELHADO, 2018h), este sistema de telhado verde serve como cisterna e é independente de irrigação com água potável. Ele retém água da chuva e fornece o tratamento de águas residuais. Permite o armazenamento de até 160 litros por metro quadrado e pode ser implantado sobre terraços ou lajes planas. Como suas principais atribuições, conforme mencionado, estão a captação da água da chuva, o conforto térmico do ambiente interno e o tratamento das águas cinzas da habitação. Caracteriza-se pela presença de um dreno (módulo hexagonal de plástico reciclado - Figura

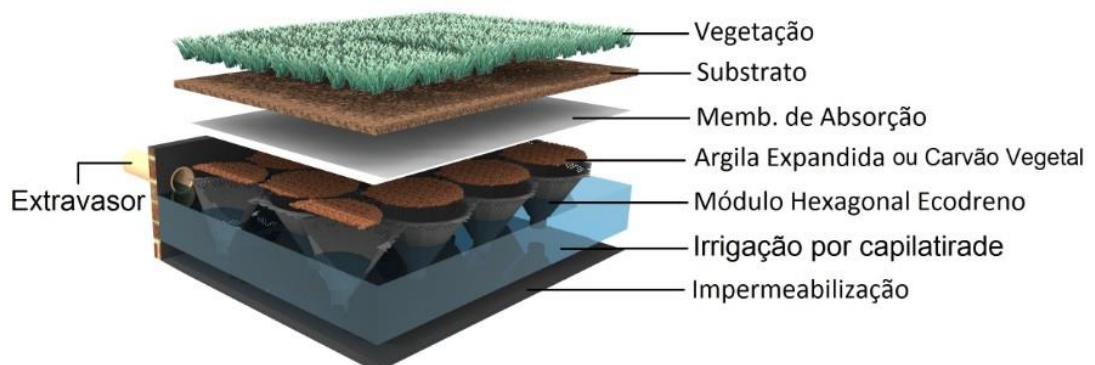
17), que funciona como um piso flutuante para que, sob o mesmo, seja formada a cisterna de reservação da água captada (ECOTELHADO, 2018i). A Figura 18 apresenta um esquema de montagem para o sistema, com suas principais camadas e componentes.

Figura 17 - Módulo de armazenamento de água do Sistema Laminar Alto.



(Fonte: próprio da autora)

Figura 18 - Esquema de montagem do Sistema Laminar Alto.



(Fonte: ECOTELHADO, 2018i)

- *Sistema Laminar Médio*: Da mesma forma que o sistema descrito imediatamente acima, com este também é possível armazenar a água da chuva e tratar efluentes domésticos,

evitando a irrigação da vegetação com água potável (ECOTELHADO, 2018j). O sistema deve ser instalado em coberturas planas e possui capacidade para reter até 60 litros de água por metro quadrado. Caracteriza-se por um módulo de 7 centímetros de altura (Figura 19) e suas funcionalidades se equivalem às do Sistema Laminar Alto (ECOTELHADO, 2018j; 2018k). A Figura 20 destaca o funcionamento da estrutura como cisterna de água da chuva, e a Figura 21 apresenta um esquema de montagem do sistema.

Figura 19 - Módulo de armazenamento de água do Sistema Laminar Médio.



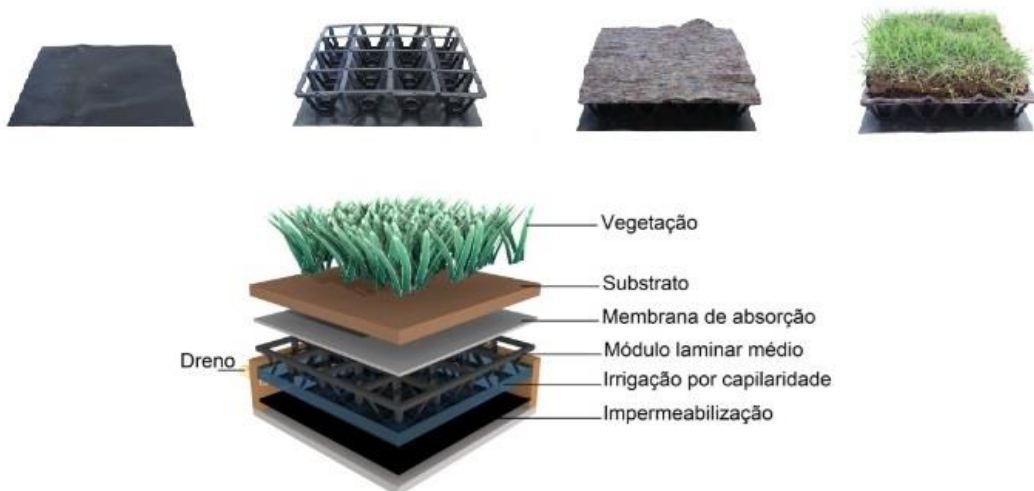
(Fonte: próprio da autora)

Figura 20 - Destaque para o armazenamento de água no Sistema Laminar Médio.



(Fonte: próprio da autora)

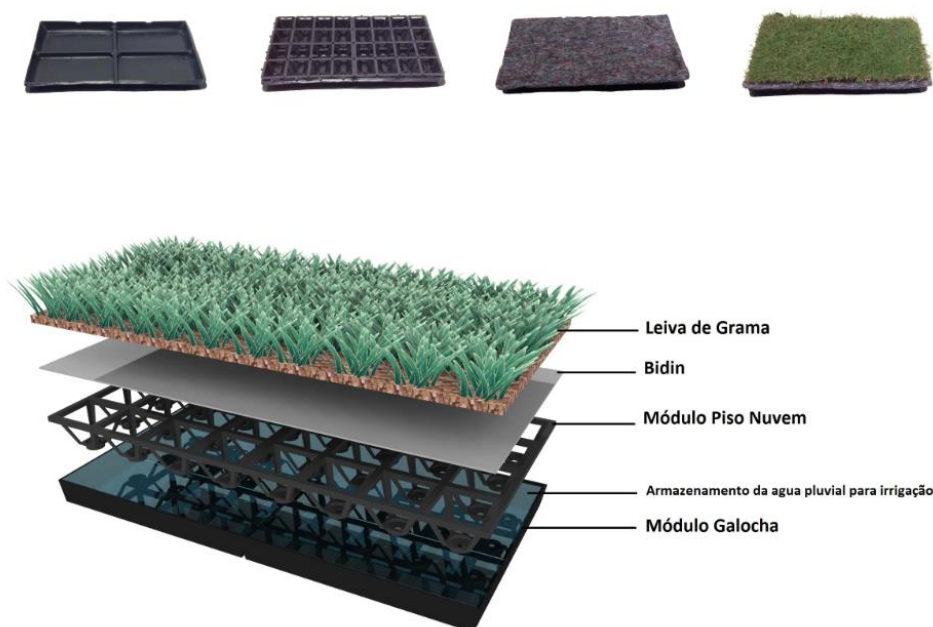
Figura 21 - Esquema de montagem do Sistema Alveolar Médio.



(Fonte: ECOTELHADO, 2018k)

- *Sistema Hidromodular*: Este sistema proporciona o armazenamento de até 50 litros de água por metro quadrado, através da utilização de dois módulos de plástico reciclado (ECOTELHADO, 2018m). Conforme o fabricante, ele pode ser instalado em lajes com pouco caimento e, ainda assim, armazena a água proporcionalmente ao longo de toda a superfície. O sistema utiliza a água da chuva para a própria vegetação se irrigar, diminuindo o uso de água potável e proporcionando a drenagem sustentável da água pluvial. Suas principais funcionalidades estão associadas ao conforto térmico interno do ambiente e à proximidade com a natureza (ECOTELHADO, 2018l; 2018m). A Figura 22 apresenta um esquema da montagem do sistema.

Figura 22 - Esquema de montagem do Sistema Hidromodular.



(Fonte: ECOTELHADO, 2018m)

Relativo aos resíduos sólidos, a seguir apresentam-se as formas de gestão que possibilitam tornar mais equilibrado o relacionamento entre o ambiente e a humanidade.

3.4.2. Gestão de Resíduos Sólidos

Devido à elevada quantidade de RSU, especialmente plásticos e outros de difícil degradação, é fundamental que se promova uma adequada gestão dos resíduos sólidos a partir do momento em que estes são gerados.

A gestão e a disposição inadequada dos resíduos sólidos causam impactos socioambientais, tais como degradação do solo, comprometimento dos corpos d'água e mananciais, intensificação de enchentes, contribuição para a poluição do ar e proliferação de vetores de importância sanitária nos centros urbanos e catação em

condições insalubres nas ruas e nas áreas de disposição final (BESEN et al., 2010 apud JACOBI e BESEN, 2011).

Hoje, entende-se que a gestão dos resíduos sólidos passa por diversos pilares estruturantes, dos quais se destacam: “adoção de sistemas integrados baseados na redução na fonte, na reutilização de resíduos, na reciclagem, na transformação dos resíduos e na disposição em aterros” (RUSSO, 2003).

Estes pilares também são conhecidos no Brasil, e chamados de os *cinco Rs*, que por sua vez, são: Reduzir, Repensar, Reaproveitar, Reciclar e Recusar (o consumo de produtos que gerem impactos socioambientais significativos). A política dos cinco Rs prioriza a redução do consumo e o reaproveitamento dos materiais em relação a sua própria reciclagem, ou seja, busca concretizar um processo educativo cujo objetivo é uma mudança de hábitos no cotidiano dos cidadãos, reduzindo o consumo exagerado e o desperdício (BRASIL, sd).

Através da adoção da política dos cinco Rs nas residências, associada a técnicas adequadas de manejo, é possível ter uma redução significativa na pegada ecológica atrelada a geração de resíduos sólidos.

Primeiramente, para que seja possível a implantação de uma adequada gestão dos resíduos sólidos, é fundamental que se proceda com a separação dos materiais, de acordo com sua composição ou constituição. A partir daí, é possível que os municípios implementem a coleta seletiva dentro do seu Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos, conforme instituído pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010).

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, sd), coleta seletiva é a coleta diferenciada de resíduos que são previamente separados pelos cidadãos conforme a sua tipologia. Cabe ao gerador, desta forma, promover a correta separação de seus resíduos, no mínimo em duas classes distintas, antes de encaminhá-los para a coleta: recicláveis e rejeitos (BRASIL, sd). A reciclagem, procedimento ao qual são submetidos os resíduos recicláveis, é o processo de transformação dos materiais, depois de esgotadas suas funcionalidades originais, em novos produtos ou matéria-prima (e-Cycle, sd). A adequada separação de resíduos é extremamente importante, pois os diferentes materiais necessitam ser submetidos a processos de reciclagem diferentes. Na medida em que ocorrem misturas, a reciclagem vai se tornando inviável ou muito dispendiosa (BRASIL, sd). Já aqueles classificados como rejeitos, de modo geral, são encaminhados para aterros sanitários para disposição final.

Entretanto, para desenvolver ainda mais a gestão de resíduos de uma residência, é interessante que estes sejam separados em três categorias: recicláveis, rejeitos e orgânicos (BRASIL, sd).

Os resíduos orgânicos consistem em restos de alimentos e de vegetação e são aqueles passíveis de reciclagem através do processo de compostagem.

A compostagem, segundo Russso (2003), “é um processo aeróbio controlado, em que diversos micro-organismos são responsáveis, numa primeira fase, por transformações bioquímicas na massa de resíduos e humificação, numa segunda fase”. A vermicompostagem é uma das alternativas para o aproveitamento dos resíduos *in loco* (SILVA et al., 2016), uma vez que é extremamente simples de ser aplicada e possui resultados satisfatórios, com pouca manutenção. Este é um processo biotecnológico no qual minhocas são introduzidas em uma composteira para acelerar a conversão da matéria orgânica e gerar dois produtos biofertilizantes que podem ser utilizados como adubo - o húmus (sólido) e o chorume (líquido) (SILVA et al., 2016). O processo leva aproximadamente 90 dias para se completar (GABIATTI et al., 2016).

As vantagens atribuídas à compostagem são majoritariamente ambientais, uma vez que os resíduos que antes iam ser dispostos em aterros sanitários ou até mesmo em lixões - gerando gases de efeito estufa (JACOBI e BENSEN, 2011), agora possuem um destino sustentável, no qual é permitido que o ciclo natural dos mesmos ocorra sem impactos ao ambiente. Ainda, existem vantagens econômicas relacionadas à produção do composto (húmus), que é aplicável em hortas ou até mesmo na agricultura, quando em maiores quantidades (RUSSO, 2003).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) também destaca os princípios da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos e da logística reversa. Segundo a citada política, a responsabilidade compartilhada é o

conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, para minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como para reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos.

Por sua vez, a logística reversa consiste em um dos instrumentos para aplicação da responsabilidade compartilhada, ou seja, é caracterizada por “um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada” (BRASIL, 2010), de modo a promover a adequada gestão dos resíduos gerados a partir de um produto, sendo esta responsabilidade tanto da indústria que produziu o bem quanto do consumidor que o descartou ao final de sua vida útil.

O desafio consiste, então, em inverter a lógica ainda existente de “afastar os resíduos” e promover o desenvolvimento natural do ciclo dos orgânicos através da compostagem, investindo também na redução da produção excessiva e no desperdício, assim como na coleta seletiva (RUSSO, 2003) e na destinação adequada dos resíduos através da logística reversa.

3.4.3. Resumo das Alternativas Descritas

A Tabela 1 apresenta, de forma sintetizada, as alternativas sustentáveis descritas nos itens anteriores, enfatizando vantagens e desvantagens associadas a sua implantação.

Tabela 1 - Resumo das alternativas sustentáveis abordadas neste estudo.

Alternativa Sustentável	Definição	Vantagens	Desvantagens
Aproveitamento da água da chuva	Captação da água da chuva através de superfícies impermeáveis e armazenamento desta para reuso.	<ul style="list-style-type: none"> - Redução no consumo de água potável; - Redutor de escoamentos pluviais; - Economia mensal no custo da água das distribuidoras. 	<ul style="list-style-type: none"> - Custo de implantação do sistema; - Cuidados quanto à qualidade da água para determinados fins; - Necessidade de adaptação das estruturas da construção para implantação do sistema em edificações já existentes.
Chuveiro ecológico	Chuveiro portátil à gás que utiliza menor quantidade de recursos hídricos e energéticos para seu funcionamento.	<ul style="list-style-type: none"> - Redução no consumo de água; - Redução no consumo energético; - Economia mensal no custo da água e da energia elétrica das distribuidoras; - Facilidade de instalação e manuseio; - Emissão praticamente nula de gases ao ambiente. 	<ul style="list-style-type: none"> - Custo de compra do equipamento; - Questão estética / design dos produtos.
Vaso sanitário de meio litro	Sistema de bacia sanitária que utiliza 0,5 litros de água por descarga.	<ul style="list-style-type: none"> - Redução no consumo de água; - Economia mensal no custo de água da distribuidora; - Mais higiênico que o sistema convencional; - Possibilidade de associar o equipamento ao Ecoesgoto. 	<ul style="list-style-type: none"> - Custo de compra do equipamento; - Questão estética / design único do produto.

Alternativa Sustentável	Definição	Vantagens	Desvantagens
Ecoesgoto	Sistema de tratamento de efluentes biológicos constituído por uma câmara de compostagem e uma <i>wetland</i> construída.	<ul style="list-style-type: none"> - Eliminação da necessidade de conexão à rede pública de esgotos; - Tratamento do efluente de forma limpa e sem odores; - Economia mensal no custo de água da distribuidora; - Possibilidade de processar outros resíduos orgânicos; - Geração de húmus (biofertilizante) como produto do processo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Custo de implantação do sistema; - Área ocupada pelo sistema; - Manutenção periódica necessária; - Indisponibilidade do sistema para apartamentos em edifícios.
Telhado verde	Telhado recoberto por vegetação.	<ul style="list-style-type: none"> - Questão estética; - Conforto térmico e acústico; - Aproximação do contato com a natureza; - Redutor de escoamentos pluviais; - Melhoria na qualidade do ar pela ação das plantas; - Possibilidade de funcionar como cisterna de armazenamento de água da chuva e de tratar de águas cinzas; - Promoção da biodiversidade. 	<ul style="list-style-type: none"> - Custo de implantação do sistema; - Manutenção periódica necessária; - Somente pode ser implementado em coberturas.
Coleta seletiva	Coleta diferenciada de resíduos previamente separados conforme sua tipologia.	<ul style="list-style-type: none"> - Facilidade de aplicação; - Destinação correta para os diferentes tipos de resíduos; - Viabilizar a reciclagem dos materiais. 	<ul style="list-style-type: none"> - Necessidade de separar os resíduos ao serem gerados; - Necessidade de atentar para os dias de coleta de acordo com o tipo de resíduo.

Alternativa Sustentável	Definição	Vantagens	Desvantagens
Compostagem	Processo aeróbio controlado para decomposição de resíduos orgânicos.	<ul style="list-style-type: none"> - Facilidade de aplicação; - Geração de húmus e chorume (biofertilizantes) como produtos do processo; - Destinação sustentável para os resíduos orgânicos; - Não geração de impactos ambientais. 	<ul style="list-style-type: none"> - Manutenção periódica necessária; - Tempo de conclusão do processo.

(Fonte: elaborado pela autora)

3.5. FERRAMENTAS DE ANÁLISE ECONÔMICA

Um dos fatores de maior relevância na decisão pela adoção de alternativas sustentáveis nas residências é o econômico. Para que se possa estimar a economia gerada com o tempo devido à implantação deste tipo de tecnologia, ferramentas de análise econômica podem ser aplicadas. Aquelas consideradas relevantes para este estudo estão detalhadas a seguir.

Pode-se dizer que *payback* significa retorno. De acordo com Mesquita (2016), este índice é utilizado para indicar o período de retorno de um investimento, ou seja, é o tempo decorrido desde a aplicação inicial até aquele momento em que os rendimentos acumulados tornam-se iguais ao valor desembolsado. Sua determinação está relacionada a outros indicadores, como por exemplo, a análise do fluxo de caixa.

A análise do fluxo de caixa, por sua vez, é realizada através do Valor Presente Líquido (VPL). O VPL representa o valor acumulado do fluxo de caixa, permitindo que “todos os valores em questão sejam corrigidos por uma taxa de desconto, que se refere a um percentual correspondente aos juros de aplicação em renda fixa” (BORTOLI, 2018). Dessa forma, leva em consideração o valor do dinheiro no tempo, onde uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) é estipulada, representando o retorno exigido pelo investidor (RAMOS, 2016). A TMA aplica um desconto em relação ao período especificado. Este cálculo é necessário devido à desvalorização do dinheiro com o passar do tempo; portanto, o saldo do fluxo de caixa de um determinado tempo futuro é trazido ao valor presente (BORTOLI, 2018). O desenvolvimento de um fluxo de caixa é de extrema importância para a análise dos investimentos, pois possibilita a mensuração da economia gerada mês a mês com a instalação do sistema (RAMOS, 2016).

Além da taxa de atratividade, periodicamente, as tarifas dos recursos distribuídos pelas concessionárias (de água e energia elétrica, por exemplo) são reajustados. Estas tarifas, neste caso, representam a economia mensal resultante da aplicação de técnicas e equipamentos sustentáveis. Com a consideração desta taxa, criam-se cenários mais próximos da realidade, já que essas tarifas sofrem reajustes cíclicos (RAMOS, 2016). A taxa de juros (ou de atratividade), de acordo com Gehling (2008), fica em torno de 8%, sendo que esta representa um fator redutor para que o fluxo de caixa seja trazido para o valor presente. Já o reajuste das tarifas de água e energia representa um incremento ao preço do recurso. O último reajuste realizado pelo DMAE ocorreu em 2017, com um aumento de 7,17% (PORTO ALEGRE, 2017a). Já a CORSAN estabeleceu um reajuste em julho de 2018, cujo valor não ultrapassou

os 3% (CORSAN, 2018). A CEEE, por sua vez, aplicou, em novembro de 2017, um reajuste médio de 30,62% nas tarifas de energia elétrica (CEEE, sd).

Com base nos conceitos explicitados, existe também o Tempo de Retorno Descontado (TRD). Este representa o número de período que zera o VPL do projeto, levando-se em conta a taxa de juros e de aumento das parcelas incidentes. Esta análise está diretamente relacionada com a duração da vida útil do projeto, ou seja, se o TRD é superior a este período, o investimento correspondente não será atrativo (DIAS, 2007). Logo, o *payback* do projeto, representado pelo TRD, segue a Equação 4.

$$TRD = \textit{Investimento Inicial} / \textit{Fluxo de Caixa} \quad (\text{Equação 4})$$

Dessa forma, pela análise econômica de um investimento, conforme mencionado, poderão ser tomadas decisões mais conscientes e acertadas quanto à aquisição de determinados produtos, levando em conta os benefícios individuais trazidos ao investidor, além daqueles gerados ao ambiente.

4. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste estudo, realizou-se um protótipo de projeto de uma residência unifamiliar para que, então, pudessem ser analisadas as vantagens e desvantagens da adoção de uma abordagem sustentável na construção. A seguir estão descritas as características dos sistemas estudados, as suposições, dados e definições adotados e os métodos empregados para a realização das análises.

4.1. CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS ESTUDADOS

Tendo como base a Lei Complementar n° 284 de 1992 da cidade de Porto Alegre, a qual institui o Código de Edificações de Porto Alegre e dá outras providências, e, complementarmente, o Decreto n° 12.342 de 1978 do estado de São Paulo, definiu-se como cenário de estudo uma residência unifamiliar considerando a área mínima recomendada pelas citadas referências. Contemplando uma superfície de 60 m² com dois dormitórios, sala, cozinha, banheiro e área de serviço, além de uma área externa não construída de 10 m², onde estaria localizado o jardim da residência, a construção abrigaria uma família composta por três pessoas - conforme número médio de pessoas por família residente em domicílio particular no Rio Grande do Sul, estabelecido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2006).

Como já mencionado, serão estudadas duas condições para a habitação: uma com abordagem sustentável, através da utilização das tecnologias de eficiência no aproveitamento de recursos, e uma com abordagem tradicional. As características de consumo, demandas e equipamentos adotados estão relatados a seguir.

4.1.1. Cenário 1 de Análise

O cenário 1 de análise representa a abordagem tradicional, ou seja, busca representar os padrões de consumo atuais comumente observados nas residências do Rio Grande do Sul. Para tanto, será considerada a adoção de vaso sanitário com caixa acoplada, chuveiro elétrico, máquina de lavar roupa, climatizadores, refrigerador e televisão. Será definida a existência de dois climatizadores na habitação, os quais estarão em funcionamento durante uma hora por dia, a fim de representar a média anual de consumo, uma vez que durante as estações mais extremas a utilização é maior, mas durante aproximadamente 9 meses por ano os equipamentos não são utilizados.

Toda a água e a energia elétrica utilizadas na habitação serão provenientes das respectivas companhias responsáveis pelo abastecimento do município. Quanto aos resíduos sólidos, é definido que os mesmos serão direcionados para a coleta seletiva.

4.1.2. Cenário 2 de Análise

O cenário 2 de análise representa a abordagem sustentável, que irá simular as condições de consumo percebidas em uma habitação que utiliza as alternativas sustentáveis descritas com maiores detalhes no item 3.4 deste trabalho. Nestas circunstâncias, então, serão adotados vaso sanitário de meio litro com ecoesgoto, chuveiro ecológico, máquina de lavar roupa, climatizador, refrigerador e televisão.

Ainda, haverá implantação de telhado verde e captação de água da chuva para utilização cujas finalidades não exijam grau de potabilidade para a qualidade da água (conforme NBR 15.527 (ABNT, 2007)). O principal objetivo do telhado verde, como referido anteriormente, é a promoção de um ambiente biofílico para a edificação, além da manutenção do conforto térmico no seu interior, evitando a necessidade de climatizadores e, dessa forma, economizando energia elétrica. Portanto, definiu-se que os ambientes nos quais os habitantes da unidade residencial permanecem por maiores períodos de tempo - quartos e sala - serão cobertos por esta estrutura. A área representada por esta seção equivale a 35 m². O sistema de Ecotelhado escolhido para este caso será o Alveolar Médio, uma vez que permite o armazenamento de uma lâmina d'água significativa sobre a construção, tornando o jardim independente de irrigação e o isolamento térmico mais eficiente. As áreas da cobertura que serão dedicadas à captação da água da chuva com o objetivo de reuso são aquelas localizadas sobre a cozinha, a área de serviço e o banheiro, e que representam um total de 25 m² (Tabela 2). Com o intuito de representar o conforto térmico promovido pelo telhado verde, será considerada a existência de apenas um climatizador na residência, com funcionamento diário de uma hora.

Tabela 2 - Seções do telhado reservadas às diferentes finalidades.

Função do Telhado	Área (m²)
Telhado Verde	35
Captação de água da chuva para reuso	25

(Fonte: elaborado pela autora)

Por sua vez, os resíduos sólidos recicláveis e os rejeitos serão encaminhados para a coleta seletiva e os orgânicos serão submetidos à vermicompostagem no próprio local. Também,

aplicando estratégias da arquitetura bioclimática, irá se posicionar a edificação considerando a orientação solar e os ventos predominantes na região.

4.2. DEMANDAS DE ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA

Para realizar as análises referentes às variações no consumo de água e energia elétrica nas diferentes abordagens, torna-se necessário o conhecimento acerca das demandas nas habitações. Ainda, para o dimensionamento do reservatório de água da chuva, é fundamental o conhecimento da variável hídrica, uma vez que deve-se buscar atender à demanda por água não potável através desta fonte do modo mais abrangente possível.

Os usos da água na residência, considerados no estudo, foram os seguintes: vaso sanitário, lavagem de calçadas e de veículos, irrigação de jardins, chuveiro, máquina de lavar roupa e usos básicos, tais quais torneiras, limpeza interna e consumo humano. A partir daí, as demandas identificadas foram divididas em *potável* e *não potável*. Já as demandas por energia elétrica consideradas foram: aquelas de uso contínuo, como refrigerador; as que sofrem grande modificação com a alteração da abordagem considerada, como o chuveiro e o climatizador; e, por fim, aquelas que possuem maior representatividade no consumo da habitação, como a máquina de lavar roupa e a televisão. O próximo item discorre sobre a metodologia utilizada para o dimensionamento do reservatório de água da chuva.

4.3. DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO DE ÁGUA DA CHUVA

Para o dimensionamento do reservatório deste estudo, foi utilizado o Método dos Ábacos, sendo que o principal objetivo foi definido como promover o maior atendimento possível à demanda de água não potável para o cenário 2 de análise, considerando uma área de captação de 25 m².

4.4. ASPECTOS ECONÔMICOS

Um dos principais benefícios visados pelos proprietários ou usuários das edificações é o benefício monetário (RAMOS, 2016). A análise econômica deste estudo somente irá considerar os equipamentos e aspectos relacionados à economia de água e de energia, ou seja, dentre todas as características sustentáveis abrangidas, as quais têm influência na redução dos impactos ambientais, somente aquelas que dizem respeito às questões hídricas ou energéticas da residência serão avaliadas economicamente. O foco desta análise é determinar o período de retorno especificamente para o investimento nestes equipamentos, como o reservatório de armazenamento de água da chuva e aqueles que evitam o desperdício de água e diminuem o

consumo energético. Para a análise dos aspectos econômicos devem ser considerados alguns fatores, contemplados a seguir.

4.4.1. Investimento Financeiro

Um dos fatores que influenciam o período de retorno é o valor que será desembolsado para a implementação dos equipamentos voltados à sustentabilidade. Este é um valor fixo e será constituído por orçamentos desenvolvidos para cada agente de interesse.

O investimento financeiro, neste estudo, irá considerar apenas as divergências entre os dois cenários (tradicional e sustentável), ou seja, somente serão orçados aqueles equipamentos que serão substituídos de uma abordagem para a outra, tais quais chuveiro e vaso sanitário, e aqueles que serão instalados apenas em uma das abordagens, como é o caso do telhado verde e do sistema de captação de água da chuva. As tubulações e calhas de coleta não foram contempladas nos orçamentos, uma vez que deverão ser implantadas em ambas as abordagens e, portanto, não possuem influência significativa para a análise.

Serão realizadas, para esta finalidade, pesquisas de preço para os componentes convencionais em diferentes fornecedores do mercado e, posteriormente, consideradas as médias dos valores dos materiais. É importante ressaltar que, como não se dispõe neste trabalho do projeto executivo da construção, os preços serão estimados e podem gerar valores acima ou abaixo da realidade. Diante desta situação, levar-se-á em consideração os menores valores encontrados para os materiais de interesse na abordagem tradicional, para que, no final, seja obtido um período de retorno para o investimento em sustentabilidade não inferior ao real, evitando frustração de expectativas por parte do investidor.

4.4.2. Tarifas de Água e Energia Elétrica

As tarifas de água e de energia elétrica das concessionárias representarão o “fluxo de caixa” da análise econômica, ou seja, aquele valor que irá se deixar de gastar mensalmente com os recursos. Parte-se da premissa de que a adoção de equipamentos voltados à sustentabilidade e a utilização da água da chuva para demandas de água não potável irão reduzir os consumos de água e de energia da rede, as quais são tarifadas pelas distribuidoras. Dessa maneira, trarão benefícios econômicos aos habitantes da residência, servindo, assim, como amortização do investimento de implantação (MANO, 2004).

Neste estudo, foram consideradas as tarifas de água potável do Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE), responsável pela distribuição de água na cidade de Porto Alegre, e,

também, as tarifas da Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), que atua em mais de 300 municípios do Rio Grande do Sul, justamente pela abrangência desta no estado - permitindo a aplicação da pesquisa para outras regiões.

As tarifas do DMAE para a categoria residencial estão divididas em Preço Básico (PB) por m³, Tarifa Social de água para um consumo de até 10 m³ por mês, Tarifa Social de água e esgoto para um consumo de até 10 m³ por mês e Tarifa Social de água e esgoto para um consumo médio de 13 m³ por mês (PORTO ALEGRE, 2017a). As tarifas sociais são destinadas a usuários residentes em prédios de até 40 m². Neste estudo, será considerado o Preço Básico por m³ para definição das economias mensais. A Tabela 3 apresenta os valores para cada uma das referidas seções.

Tabela 3 - Tarifas básicas dos serviços do DMAE na categoria residencial.

Item	R\$
PREÇO BÁSICO m ³	3,25
TARIFA SOCIAL - ÁGUA (até 10m ³ /mês)	13,00
TARIFA SOCIAL - ÁGUA+ESGOTO (até 10m ³ /mês)	23,40
TARIFA - ÁGUA+ESGOTO (consumo médio 13m ³ /mês)	76,05

(Fonte: adaptado de PORTO ALEGRE, 2017a)

O cálculo da tarifa de água do DMAE, para consumo mensal de até 20 m³, segue Equação 1 a seguir (PORTO ALEGRE, 2017b).

$$T_a = PB * \left(\frac{C}{E}\right) * E \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

T_a - tarifa de água mensal (R\$);

PB - preço básico (R\$/m³);

C - consumo mensal de água (m³);

E - número de economias.

Já o serviço de esgoto é calculado pela Equação 2 (PORTO ALEGRE, 2017b).

$$T_e = PB * C * 0,8 \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

Te - tarifa de esgoto mensal (R\$);

PB - preço básico (R\$/m³);

C - consumo mensal de água (m³).

Os valores encontrados para a tarifa de água e de esgoto somados resultarão no total da conta.

A CORSAN, por sua vez, divide suas tarifas em duas principais categorias - Social e Básica. A categoria Social se refere a construções com área construída inferior a 60 m² e até seis pontos de tomada de água, ocupada por família de baixa renda, conforme estabelecido em CORSAN (2018). A categoria Básica se refere às demais residências, cujo consumo estimado mensal seja de 10 m³. A Tabela 4 apresenta os valores para estes serviços. Neste estudo, serão consideradas as tarifas referentes à categoria Básica.

Tabela 4 - Tarifas básicas dos serviços da CORSAN na categoria residencial.

TARIFA	CATEGORIA	ÁGUA		ESGOTO	
		PREÇO BASE (R\$)	SERVIÇO BÁSICO (R\$)	COLETADO PREÇO m ³ (R\$)	TRATADO PREÇO m ³ (R\$)
SOCIAL	BICA PÚBLICA	2,51	9,94	1,25	1,75
	RESID. A e A1	2,11	9,94	1,05	1,47
	m ³ excedente	5,23	-	2,61	3,66
BÁSICA	RESIDENCIAL B	5,23	24,80	2,61	3,66

(Fonte: adaptado de CORSAN, 2018)

O cálculo da tarifa de água da CORSAN segue Equação 3 a seguir. Para locais onde há coleta e tratamento de esgoto, à Equação 3 acrescenta-se o valor deste serviço, o qual consta na Tabela 4, de acordo com o consumo de água.

$$Ta = SB + PB * C^n \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

Ta - tarifa de água mensal (R\$);

SB - serviço básico (R\$);

PB - preço básico (R\$/m³);

C - consumo mensal de água (m³);

n - variável de consumo (igual a 1 para consumo residencial de até 20 m³).

No que diz respeito às tarifas de energia elétrica, serão consideradas aquelas referentes à Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica (CEEE), concessionária que atende a 72 municípios do Rio Grande do Sul, correspondendo a 34% do mercado consumidor do estado e abrangendo as regiões Metropolitana, Sul, Litoral e Campanha gaúcha (CEEE, 2015b). A Tabela 5 apresenta os custos de energia residenciais de acordo com as classes indicadas. Ainda, sobre estes valores, podem ser considerados adicionais referentes ao Sistema de Bandeiras Tarifárias, que considera as condições de geração de eletricidade e uma taxa de contribuição para iluminação pública. Além disso, a composição do preço final da energia leva em conta as alíquotas de PIS e COFINS, que possuem variação mensal, além do ICMS. Devido ao grande número de variáveis envolvidas na composição do custo da energia, e por ser de interesse neste estudo apenas a economia associada à abordagem sustentável, a tarifa será calculada através do Simulador de Consumo, fornecido pela CEEE (2015a).

Tabela 5 - Tarifas residenciais de energia elétrica da CEEE.

Classe	Consumo	R\$/kWh
Residencial Baixa Renda	Até 30 kWh	0,163177
	31-100 kWh	0,279732
	101-220 kWh	0,419598
	Acima 220 kWh	0,46622
Residencial Convencional		0,50542

(Fonte: adaptado de CEEE, 2017)

Além disso, a determinação das economias mensais de acordo com o consumo de energia e com as demandas de água da residência (Tabela 7, Tabela 8 e Tabela 9) para ambas as abordagens foi gerada considerando duas situações: uma onde existe coleta e tratamento de esgoto e a outra onde somente é realizada a distribuição da água pela concessionária - sem tratamento de esgoto, além de serem consideradas as tarifas tanto da CORSAN quanto do DMAE.

Por fim, para a determinação do período necessário para obtenção do retorno financeiro, fazendo uso das informações tarifárias e de investimento inicial, são descritas a seguir as ferramentas que serão aplicadas nesta análise.

4.4.3. Ferramentas de Análise Econômica

Para a análise econômica do investimento serão utilizadas as ferramentas de Engenharia Econômica *payback* e Valor Presente Líquido, descritas no item 3.5 deste estudo.

Como entradas no caixa, foram considerados os valores economizados mensalmente, segundo as tarifas cobradas pelas concessionárias de água e de energia, de acordo com o consumo da edificação e, como saída, o investimento inicial para a execução do projeto.

Ainda, aplicou-se uma taxa de reajuste médio de 8% para as tarifas, valor ligeiramente inferior à média das últimas taxas aplicadas. Dessa forma, aplicando-se simultaneamente a taxa de juros (igual a 8%, de acordo com Gehling (2008)) e a de reajuste ao valor economizado mensalmente, uma vez que uma o reduz e a outra o aumenta, a simples divisão do valor do investimento inicial por essa parcela de economia proporcionada resultará em uma aproximação do período de retorno do montante investido (SELLA, 2011).

Com a utilização das ferramentas apresentadas, foi possível analisar todo o investimento realizado na abordagem sustentável, gerando uma visão da influência de todas as variáveis. A seguir, a metodologia utilizada para a análise das questões ambientais relacionadas ao investimento está explicitada.

4.5. ASPECTOS AMBIENTAIS

Para realizar a análise ambiental neste trabalho, será utilizado o cálculo da Pegada Ecológica, com o principal objetivo de permitir a comparação entre as duas situações consideradas. Dessa forma, os resultados não irão representar fielmente a realidade, uma vez que não serão contemplados todos os parâmetros ambientais que influenciam no impacto total gerado pela residência, mas somente aqueles relacionados ao consumo de energia elétrica e de água, os quais foram selecionados para que se consiga observar as variações nas áreas demandadas para o suprimento das necessidades de ambas as abordagens. Acredita-se que os parâmetros escolhidos são os mais significativos para a análise das vantagens ambientais atreladas à abordagem sustentável.

Para o cálculo, foi adaptada a metodologia utilizada por Amaral (2010), na qual “foram obtidos os valores totais do consumo de cada segmento, convertidos em quantidade correspondente de massa de gás carbônico liberado (Equação 5) e, então, em área verde necessária para absorção do mesmo (Equação 6)”.

$$Emissão(kgCO_2) = Consumo(unidade) * FatorEmissão \left(\frac{kgCO_2}{unidade} \right) \text{ (Eq. 5)}$$

$$Área(ha) = \frac{Emissão(kgCO_2)}{TaxaAbsorçãoCarbono \left(\frac{kgCO_2}{ha/ano} \right)} \text{ (Eq. 6)}$$

Os dados de consumo foram obtidos conforme explicado no item 4.2 deste trabalho. A partir destes, foram calculadas as emissões de CO₂ pela multiplicação da quantidade consumida pelo fator de conversão, seguindo a metodologia utilizada por Amaral (2010). De acordo com a citada autora, “cada recurso consumido possui um fator de emissão de CO₂ associado que inclui a quantidade de carbono emitida em seu ciclo de vida (extração, produção, consumo, destinação, reuso, etc)”. Para a energia elétrica, segundo o Ministério de Minas e Energia (2009, apud AMARAL, 2010), o fator de emissão para a matriz energética brasileira assume o valor de 0,0484 toneladas de CO₂ para cada MWh de consumo. Já para a água, este fator toma o valor de 0,50 quilogramas de CO₂ por m³ consumido (RODRÍGUEZ, IGLESIAS, ÁLVAREZ, 2008 apud AMARAL, 2010) (Tabela 6).

Tabela 6 - Fatores de emissão utilizados na pesquisa.

FATOR DE EMISSÃO	Água (kgCO ₂ /m ³)	Energia elétrica (kgCO ₂ /kWh)
		0,5

(Fonte: adaptado de AMARAL, 2010)

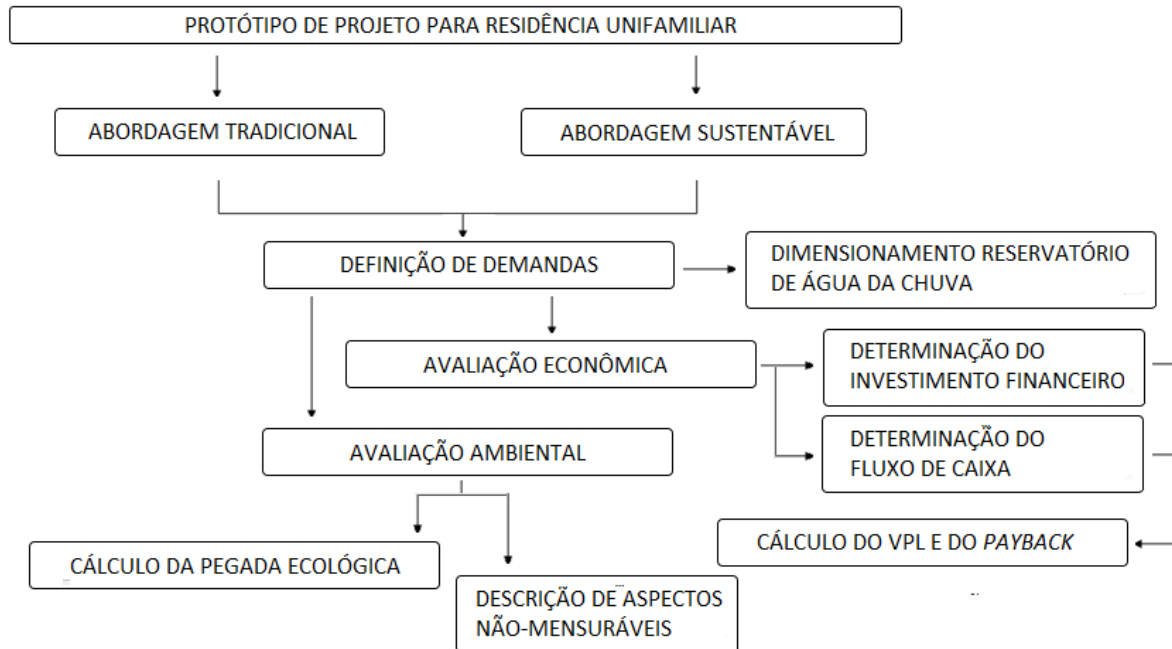
Acerca da taxa de absorção de carbono por florestas plantadas, observa-se grande variação nos valores encontrados (AMARAL, 2010). Dependendo das características locais, como bioma, fertilidade do solo e temperatura, ela pode assumir valores entre 1,6 e 6,5 toneladas de CO₂ por hectare por ano (COELHO, 2001 e MELO, 2007 apud AMARAL 2010). Seguindo a metodologia utilizada por Amaral (2010), será adotado o valor de absorção de 6,27 toneladas de CO₂ por hectare por ano, que corresponde a florestas implantadas, em fase de desenvolvimento, uma vez que aquelas já estáveis apresentam valores bastante inferiores para a taxa de absorção de carbono, como a Amazônia, que absorve no máximo uma tonelada de CO₂ por hectare por ano (VIEIRA 2009, apud AMARAL, 2010). Ressalta-se que este valor pode não ser condizente com a realidade do Rio Grande do Sul; entretanto, como se busca a obtenção de valores comparativos entre ambas as abordagens, não haverá significativa influência para a análise, pois os mesmos valores serão usados para as duas situações.

Além disso, existem vantagens associadas à adoção da sustentabilidade nas construções que não podem ser mensuradas. Dessa forma, serão descritos os principais aspectos que se acredita terem influência na escolha deste tipo de abordagem, apesar de não poderem ser estimados numericamente.

4.6. FLUXOGRAMA DO MÉTODO

A Figura 23 apresenta o fluxograma do método adotado neste estudo.

Figura 23 - Fluxograma da metodologia do estudo.



(Fonte: elaborado pela autora)

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As análises realizadas nesta pesquisa envolvem componentes econômicos e ambientais. Buscou-se determinar quantitativamente estes aspectos, visando tornar os resultados mais objetivos para facilitar sua compreensão. Entretanto, existem fatores envolvidos que não são mensuráveis, mas que também possuem extrema importância para a harmonia dos ecossistemas e para a escolha pela adoção de uma abordagem sustentável na construção de uma edificação. A seguir, serão apresentadas as demandas de cada cenário de estudo, o dimensionamento do reservatório de água da chuva e, então, os resultados das avaliações.

5.1. DEMANDAS DE ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA

Referente ao uso da água, os equipamentos considerados para cada caso, conforme citado anteriormente, possuem consumos relativamente fixos, os quais foram estabelecidos segundo as referências que podem ser visualizadas nas Tabela 7 e Tabela 8. Ainda, a área destinada à calçada da edificação seguiu as diretrizes da Lei Complementar nº 284 de 1992 de largura mínima necessária.

Diante do exposto, chega-se a uma demanda de água diária total de aproximadamente 409 litros para a habitação com abordagem tradicional e a uma demanda diária total de aproximadamente 217 litros para a habitação com abordagem sustentável. A demanda por pessoa para a abordagem tradicional gera um valor de 136 litros diários, enquanto que na abordagem sustentável a demanda diária por habitante apresenta o valor de 72 litros.

Tabela 7 - Demandas de água para usos Não-Potáveis.

Equipamento	Consumo (L)	Frequência semanal	Área (m ²)	Pessoas	litros/semana .residência	Referência
Vaso Sanitário Caixa Acoplada	6	28	-	3	504	Okamura (2006)
Vaso Sanitário Meio Litro	0,5	28	-	3	42	Ecotelhado (2018a)
Lavagem Calçadas	1,5	0,25 ¹	7	-	2,63	Dornelles (2012) apud Melo e Neto (1988)
Lavagem Veículos	209	0,5	-	-	104,5	Dornelles (2012) apud Qasim (1994)
Irrigação Jardins	1,5	3 ²	10	-	45	Dornelles (2012) apud Macintyre (1982)
ABORDAGEM TRADICIONAL					656,13 litros/semana.residência	
ABORDAGEM SUSTENTÁVEL					194,13 litros/semana.residência	

(Fonte: elaborado pela autora)

Tabela 8 - Demandas de água para usos Potáveis.

Equipamento	Consumo (L)	Frequência semanal	Área (m ²)	Pessoas	litros/semana .residência	Referência
Chuveiro Ecológico	18 ³	7	-	3	378	ATA (sd)
Chuveiro Elétrico	60	7	-	3	1.260	ABNT (1998)
Máquina Lavar Roupas	170	1	-	-	170	Roaf (2006)
Usos Básicos	37	7	-	3	777	Barreto (2008) apud Thackray, Cocker, Archibald (1978)
ABORDAGEM TRADICIONAL					2.207 litros/semana.residência	
ABORDAGEM SUSTENTÁVEL					1.325 litros/semana.residência	

(Fonte: elaborado pela autora)

Acerca do consumo energético na residência, a Tabela 9 apresenta os valores estabelecidos para os equipamentos considerados, de acordo com a potência definida. Estes foram

¹ Fonte: NASCIMENTO e SANT'ANA (2014)

² Fonte: NASCIMENTO e SANT'ANA (2014)

³ Considerando tempo de banho igual a 10 minutos.

calculados através do Simulador de Consumo da Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica (CEEE, 2015a).

Tabela 9 - Demandas por energia elétrica consideradas no estudo.

Equipamento	Potência (W)	Tempo de utilização (h/dia)	Pessoas	Frequência semanal	Consumo (kWh)
Chuveiro elétrico	3.200	0,17	3	7	1,63
Chuveiro Ecológico	4,32353E-06	0,17	3	7	0,00
Máquina Lavar Roupa	1.800	0,67	-	1	1,21
Climatizador	950	2	-	7	1,90
Refrigerador	50	24	-	7	1,20
Televisão	150	2	-	7	0,30

(Fonte: elaborado pela autora)

Assim, chega-se a um consumo anual de energia elétrica de aproximadamente 1.335 kWh para a abordagem sustentável e de 2.277 kWh para a abordagem convencional. Em síntese, são apresentados os valores obtidos na Tabela 10.

Tabela 10 - Resumo das demandas consideradas para cada abordagem de interesse.

Consumo Anual	Abordagem Tradicional	Abordagem Sustentável
Água (m ³)	137,43	72,92
Energia elétrica (kWh)	2.276,87	1.334,71

(Fonte: elaborado pela autora)

5.2. DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO DE ÁGUA DA CHUVA

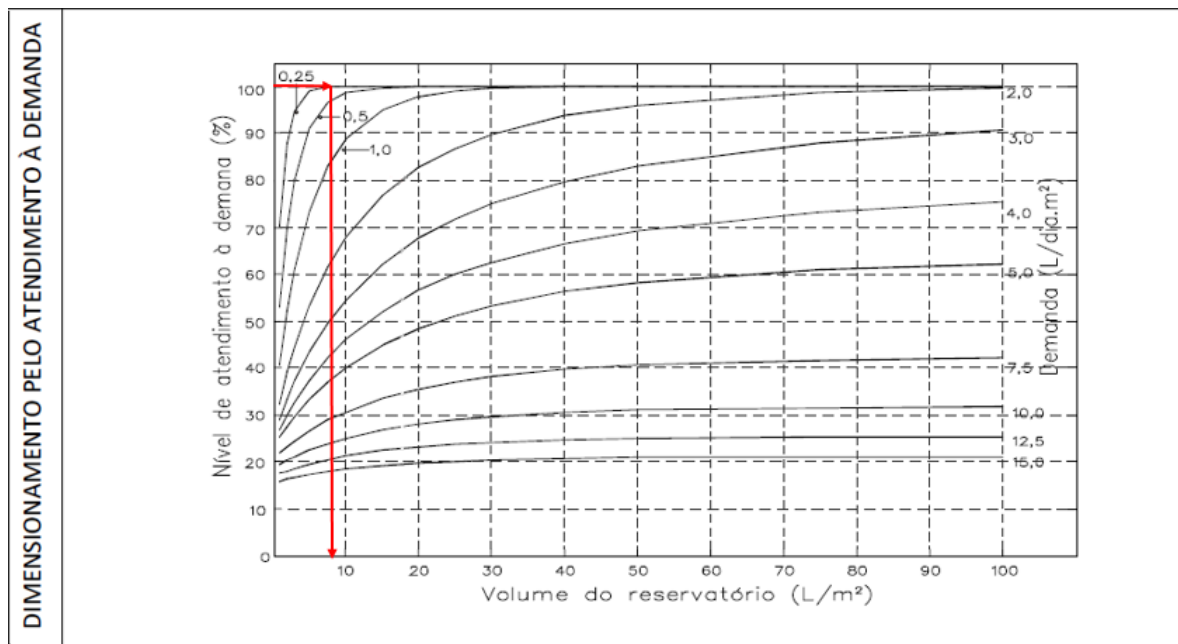
Como descrito no item 4.3 deste trabalho, o Método dos Ábacos foi utilizado para o dimensionamento do reservatório de água da chuva. A abordagem sustentável é o cenário no qual se prevê a captação das águas pluviais para reuso. A demanda por água não potável, como pode ser visualizada na Tabela 7, apresenta o valor de 194,13 litros por semana, ou seja, 27,73 litros por dia. A área de captação considerada (Tabela 2) possui o valor de 25 m². Dessa forma, a demanda diária em litros por m² é de 1,11. A fim de evitar a falta de água proveniente desta fonte para os usos previstos, a demanda considerada no dimensionamento será de 2 litros por dia por m² de captação, com nível de atendimento à demanda de 100% (Tabela 11). A Figura 24 revela o volume de armazenamento adequado para o caso em estudo.

Tabela 11 - Características consideradas no dimensionamento do reservatório de água da chuva.

DEMANDA (L/dia.m²)	2,0
ÁREA DE CAPTAÇÃO (m²)	25
NÍVEL DE ATENDIMENTO À DEMANDA (%)	100

(Fonte: elaborado pela autora)

Figura 24 - Ábaco de dimensionamento do reservatório de água da chuva, com indicação das características consideradas.



(Fonte: adaptado de DORNELLES, 2012)

A partir do ábaco (Figura 24), tem-se que, para cada m² de captação, deve-se ter um volume de armazenamento de aproximadamente 8 litros. Dessa forma, o volume total do reservatório para a residência em questão será de 200 litros. Os itens a seguir apresentam os resultados e discussões acerca das análises comparativas realizadas entre as habitações consideradas.

5.3. ANÁLISE ECONÔMICA

O item 4.4 apresentou a metodologia utilizada para a realização da análise econômica aqui exposta. A observância das dimensões mínimas recomendadas para os cômodos da edificação busca enfatizar que não são necessárias grandes obras ou investimentos para que seja possível adotar técnicas de sustentabilidade nas residências, sendo que populações de baixa renda também podem se enquadrar nos sistemas simulados. Os orçamentos dos equipamentos

adotados no estudo, os quais foram utilizados para determinação do investimento financeiro, estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Orçamentos dos equipamentos adotados no estudo.

Equipamento	Característica	Custo (R\$)
Chuveiro elétrico	3.200 W	93,40
Climatizador	7.000 BTU	1.103,75
Chuveiro Ecológico	-	640,00
Telhado Verde - Sistema Laminar Médio	35 m ²	6.607,32
Vaso Sanitário Meio Litro + Ecoesgoto	-	6.376,66
Vaso Sanitário Caixa Acoplada	-	298,06
Reservatório Água da Chuva	200 L	176,84
ABORDAGEM TRADICIONAL		2.598,96
ABORDAGEM SUSTENTÁVEL		14.904,57

(Fonte: elaborado pela autora)

A abordagem sustentável gera uma economia de água potável de 6,15 m³ por mês com relação ao uso na abordagem tradicional. Além disso, pode-se considerar uma utilização da água coletada da chuva para os fins não potáveis, na abordagem sustentável, de 0,78 m³ por mês, como destacado na Tabela 13.

Tabela 13 - Consumos de água considerados na análise econômica.

Equipamento	Consumo (litros/semana.residência)	
	Abordagem Tradicional	Abordagem Sustentável
Vaso Sanitário Caixa Acoplada	504	-
Vaso Sanitário Meio Litro	-	42
Lavagem Calçadas	2,625	2,625
Lavagem Veículos	104,5	104,5
Irrigação Jardins	45	45
Chuveiro elétrico	1260	-
Chuveiro Ecológico	-	378
Máquina Lavar Roupa	170	170
Usos Básicos	777	777
Consumo Concessionária (m³/mês)	11,45	5,3
Consumo Água da Chuva (m³/mês)	-	0,78

(Fonte: elaborado pela autora)

Como mencionado anteriormente, o fluxo de caixa permite mensurar a economia gerada mensalmente com a instalação dos equipamentos sustentáveis. As entradas no caixa consideradas neste estudo são os valores economizados com os recursos de acordo com as tarifas das concessionárias, e a única saída é o investimento inicial, representado pela diferença entre os orçamentos dos equipamentos da abordagem tradicional e os da abordagem sustentável.

Diante das informações de investimento inicial e de economia mensal, foi possível determinar o *payback* para a aquisição dos equipamentos. Lembrando que, conforme definido anteriormente, a TMA e o reajuste das tarifas se equivalem e, portanto, não interferem no fluxo de caixa. Na Tabela 15 estão apresentados os resultados para o TRD.

Tabela 14 - Tarifas de água e energia associadas às situações propostas.

Recurso	Concessionária	Valor (R\$/mês)		
		Abordagem Tradicional	Abordagem Sustentável	Economia
Água com tratamento de esgoto	DMAE	66,98	31,01	35,98
	CORSAN	126,59	71,92	54,67
Água sem tratamento de esgoto	DMAE	37,21	17,23	19,99
	CORSAN	84,68	52,52	32,16
Energia	CEEE	123,56	66,78	56,78

(Fonte: elaborado pela autora)

Tabela 15 - TRD para o investimento na abordagem sustentável.

Situação	Concessionária	Investimento (R\$)	Fluxo de caixa (R\$/mês)	Payback	
				Meses	Anos
Com tratamento de esgoto	DMAE	12.305,61	92,76	133	11
	CORSAN	12.305,61	111,45	110	9
Sem tratamento de esgoto	DMAE	12.305,61	76,77	160	13
	CORSAN	12.305,61	88,94	138	12

(Fonte: elaborado pela autora)

Analisando-se os resultados obtidos, nota-se que o retorno do investimento, para todas as situações consideradas, viria entre 9 e 13 anos, sendo que a vida útil esperada para uma edificação é próxima aos 100 anos (RAMOS, 2016). A situação que apresentou o menor tempo de retorno e, portanto, a maior atratividade, foi aquela onde existe coleta e tratamento de esgoto por parte da concessionária, que no caso seria a CORSAN, representando 9 anos para que fosse zerado o VPL. Entretanto, para os locais onde não existe tratamento de esgoto, o investimento também se apresenta muito satisfatório, promovendo o esperado retorno entre 12 e 13 anos. Conforme esperado, as simulações realizadas com as tarifas da CORSAN apresentaram menores tempos de retorno do que as feitas com as tarifas do DMAE. Isso se deve ao fato de que, nesta concessionária, os valores cobrados pelo recurso são mais elevados do que os do DMAE, o que, conseqüentemente, diminui o tempo de retorno do investimento.

Caso não fossem consideradas as tarifas de energia elétrica, a maior discrepância entre o *payback* das diferentes situações consideradas seria de 38 anos, ou seja, levariam muitos anos a mais para que o investimento fosse retornado, como pode ser visualizado na Tabela 16.

Tabela 16 - TRD desconsiderando a economia de energia elétrica.

Situação	Concessionária	Investimento (R\$)	Fluxo de caixa (R\$/mês)	Payback	
				Meses	Anos
Com tratamento de esgoto	DMAE	12.305,61	35,98	342	29
	CORSAN	12.305,61	54,67	225	19
Sem tratamento de esgoto	DMAE	12.305,61	19,99	616	51
	CORSAN	12.305,61	32,16	383	32

(Fonte: elaborado pela autora)

Entretanto, mesmo nesta condição em que o *payback* ocorre entre 19 e 51 anos, o investimento é viável e traz o retorno econômico dentro do período de tempo considerado atrativo. Dessa forma, pode-se concluir que, financeiramente, adotar uma abordagem sustentável através dos citados equipamentos e do aproveitamento da água com diferentes níveis de qualidade é viável, para os casos considerados.

A seguir, está relatada a análise referente aos componentes ambientais dos sistemas estudados.

5.4. ANÁLISE AMBIENTAL

A análise das componentes ambientais de um empreendimento ou investimento é bastante complexa, uma vez que é difícil de ser quantificada. Conforme descrito no item 4.5 deste trabalho, foi calculada a pegada ecológica das duas abordagens para possibilitar uma comparação entre estas. Além disso, a seguir, serão descritos aspectos não mensuráveis associados ao desenvolvimento da sustentabilidade nas habitações e no cotidiano das pessoas.

5.4.1. Pegada Ecológica

De acordo com a Tabela 6, cada metro cúbico de água consumido libera 0,5 quilogramas de CO₂ ao ambiente. Da mesma forma, para cada kWh de energia elétrica consumido tem-se uma liberação de 0,0484 quilogramas de CO₂. Assim, com a demanda total de água e de energia das residências ao longo do ano, pode-se determinar a contribuição equivalente de gás carbônico emitido por estas, em quilogramas. Então, convertem-se estas emissões em áreas necessárias para assimilação do CO₂, as quais indicam o impacto gerado por estes componentes dos sistemas habitacionais. As Tabela 17 e Tabela 18 apresentam os valores encontrados para os casos em estudo.

Tabela 17 - Emissão de CO₂ associada às abordagens estudadas.

EMIÇÃO (kgCO₂)	Abordagem Tradicional	Abordagem Sustentável
Água	68,72	36,46
Energia elétrica	110,20	64,60

(Fonte: elaborado pela autora)

Tabela 18 - Pegada ecológica associada às abordagens estudadas.

ÁREA (m²)	Abordagem Tradicional	Abordagem Sustentável
Água	109,59	58,15
Energia elétrica	175,76	103,03
TOTAL	285,35	161,18

(Fonte: elaborado pela autora)

Como somente foram considerados os parâmetros consumo de água e de energia elétrica para o cálculo, os valores são bastante inferiores ao real impacto das residências. Comparando com a média brasileira, cujo valor é de 2,9 hectares por habitante (BECKER et al., 2012), pode-se ter uma ideia acerca da subestimação do impacto calculado, uma vez que a PE para a abordagem tradicional resulta aproximadamente no valor de 0,03 hectares por habitante e a sustentável em 0,02 hectares por habitante. Entretanto, como o objetivo principal é a determinação da influência associada à aquisição de equipamentos sustentáveis na habitação, o cálculo realizado é válido e indica uma redução de 124,17 metros quadrados necessários para a assimilação do CO₂ da abordagem tradicional para a sustentável, o que representa uma atenuação de 43,5%.

Este resultado expressa a grande influência que a adoção de equipamentos modernos, os quais visam à economia de recursos naturais, tem nos impactos gerados, uma vez que a porcentagem de redução da pegada ecológica é bastante significativa, tendendo a harmonizar a relação humana com o meio através da adequação das demandas por recursos com a capacidade de regeneração do ambiente.

Pode-se observar, também, que o consumo de energia elétrica é um aspecto que contribui fortemente para a geração de impacto ambiental. Mesmo sem serem consideradas todas as demandas elétricas da habitação, este fator apresentou um aporte de 62% do total analisado para a abordagem tradicional e de 64% para a abordagem sustentável.

Dessa forma, ressalta-se a importância de evitar desperdícios e de buscar constantemente inovações em tecnologias sustentáveis. A observação das fontes de geração de energia, por exemplo, é uma questão que contribui significativamente para a redução da PE das populações. Deve-se dar preferência às renováveis, tais quais a solar e a eólica, e buscar implementá-las em escala residencial, quando possível, visto que, com o passar dos anos, estas tendem a se tornarem mais acessíveis economicamente.

5.4.2. Aspectos Não Mensuráveis

A adoção de uma abordagem sustentável a nível residencial está associada a outros benefícios além daqueles já mencionados, os quais são de difícil mensuração, mas são facilmente identificáveis pelos moradores da construção. Estes, por sua vez, relacionam-se tanto a questões de bem-estar humano quanto ecossistêmicos.

A compostagem de resíduos orgânicos, por exemplo, permite que os resíduos tenham um ciclo fechado, não gerando impactos ambientais associados à sua disposição. Ainda, como já mencionado no item 3.4.2. deste estudo, pode trazer benefícios econômicos devido ao húmus que é gerado no processo - produto que pode ser utilizado como biofertilizante para hortas e plantações. Percebe-se, também, que a promoção da completa gestão dos próprios resíduos por parte do gerador traz um sentimento de pertencimento ao ambiente no qual se vive, intensificando o contato com os recursos utilizados e desenvolvendo a consciência acerca da necessidade de se evitar desperdícios e má utilização dos mesmos.

Outro importante fator é o contato com a natureza promovido pela implantação de telhados verdes, *wetlands* construídas e outros. O resgate da conexão do homem com o verde em meio ao cinza urbano estimula a criatividade, garante bem-estar e relaxamento, contribui para a produtividade e ameniza o impacto visual causado pelo concreto, além da questão estética.

A inserção da sustentabilidade como alternativa de estilo de vida, ademais, instiga as pessoas a seguirem práticas mais conscientes e perceberem que é possível interligar interesses - como a adoção de conceitos sustentáveis em uma obra, promovendo, inclusive, a biodiversidade. Além disso, assumindo a responsabilidade sobre o tratamento dos efluentes gerados, evita-se a degradação dos recursos ambientais e colabora-se com todo o ecossistema envolvido, trazendo benefícios que vão muito além dos limites da residência. Nesse sentido, também, está a contribuição para a drenagem urbana promovida pela captação da água da chuva e pelos telhados verdes, que evitam picos de vazão resultantes da impermeabilização dos solos e geram uma melhoria da qualidade do ar devido à ação das plantas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se perceber, através dos sistemas expostos, que existe uma tendência de adaptação do mercado às necessidades de promover a sustentabilidade nas construções, especialmente relacionadas ao aproveitamento do ciclo natural da água e à diminuição dos impactos gerados pelas residências, além do desenvolvimento da percepção de que o contato com a natureza, especialmente no meio urbano, deve ser estimulado, uma vez que promove bem-estar, conforto, tranquilidade e outros aspectos não mensuráveis para o cotidiano das pessoas.

Para entender os reais impactos da adoção de uma abordagem sustentável em uma residência unifamiliar, buscou-se definir as principais demandas por recursos do sistema, a fim de que fosse possível contrastar com o tradicionalmente presente nas moradias. Com as demandas levantadas em ambas as abordagens, foi possível comparar as situações e concluir se a aquisição de equipamentos sustentáveis traria benefícios econômicos e ambientais para o investidor e para o meio ambiente. Para isso, calculou-se a pegada ecológica relativa ao consumo de água e de energia para ambas as situações, a qual resultou em uma redução de 43,5% na PE da condição sustentável, sendo este um valor considerado bastante elevado e significativo. Além disso, fatores não mensuráveis relativos às vantagens associadas à promoção da sustentabilidade nas habitações foram levantados, tais como maior contato com a natureza, sensação de pertencimento ao meio e bem-estar, entre outros.

Foi realizada, também, a análise econômica do investimento nos equipamentos sustentáveis, uma vez que este é um dos critérios predominantes na escolha pela adoção de um ou outro sistema. Para isto, foi necessário realizar orçamentos dos componentes de interesse, que representaram o investimento financeiro. Posteriormente, devido à economia mensal associada ao consumo dos equipamentos, através das tarifas de água e energia cobradas pelas concessionárias no Rio Grande do Sul, estipulou-se qual seria o valor amortizado mensalmente na abordagem sustentável em relação à tradicional. Considerando que a taxa mínima de atratividade do investimento é igual ao reajuste das tarifas, determinou-se o período de retorno do investimento para diferentes situações - variando-se a concessionária de água e o tipo de serviço prestado pelas mesmas. O resultado desta avaliação mostrou que o investimento realizado possui períodos de retorno que variaram entre 9 e 13 anos, valores estes bastante inferiores à vida útil esperada para uma edificação. Além disso, o DMAE anunciou um novo reajuste de 8,68% sobre o valor das suas tarifas, passando a vigorar a partir de 16 de dezembro de 2018, e a CEEE, por sua vez, aprovou um reajuste de 8,30% para os

consumidores residenciais, a vigorar a partir de 22 de novembro de 2018, o que condiz com a taxa de reajuste considerada para este estudo.

No Brasil, já existem incentivos fiscais oferecidos pelas diferentes esferas do poder público para soluções sustentáveis em edificações. O Mapeamento de Incentivos Econômicos para a Construção Sustentável é um documento que foi elaborado pela Comissão de Meio Ambiente da Câmara Brasileira da Indústria da Construção para fornecer informações aos cidadãos sobre estes incentivos. Os incentivos proporcionados pelo poder público estão divididos em cinco categorias: IPTU verde, mudanças climáticas, pagamento por serviços ambientais, ecoeficiência e preservação, conservação e recuperação do meio ambiente. Porém, observando a presente situação de outros países, constata-se que políticas de incentivos fiscais para obras sustentáveis ainda devem avançar muito no Brasil (AECWeb, sd).

Portanto, a execução de sistemas residenciais com um viés sustentável, através da aquisição de equipamentos que economizam recursos e promovem maior eficiência de consumo, mostra-se viável financeira e ambientalmente. Cabe, dessa forma, acompanhar os progressos científicos na área e buscar adaptar-se às inovações que forem surgindo, uma vez que estas demonstram ser benéficas tanto econômica quanto ambientalmente - harmonizando o desenvolvimento humano com a conservação ambiental. Ademais, estudos mais aprofundados que contabilizem o incremento no valor agregado à edificação através da implementação destes sistemas podem gerar cenários ainda mais favoráveis ao investimento.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AECWeb; e-Construmarket. **Incentivos fiscais oferecidos pelo governo estimulam boas práticas construtivas.** sd. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/incentivos-fiscais-oferecidos-pelo-governo-estimulam-boas-praticas-construtivas_12511_10_0>. Acesso em: 18 dez 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Atlas esgotos:** despoluição de bacias hidrográficas. Brasília: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2017. 88 p.

AMARAL, Renata Castiglioni. **Análise da aplicabilidade da pegada ecológica em contextos universitários:** estudo de caso no campus de São Carlos da Universidade de São Paulo. 2010. **110 f.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626:1998:** instalação predial de água fria. Rio de Janeiro, 1998. 41 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527:2007:** água de chuva - aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - requisitos. Rio de Janeiro, 2007. iv, 8 p.

ATA AGUATERRAAR. **NC chuveiros a gás de pequeno porte e portáteis.** Paraty, [s.d.]. Disponível em: <<http://www.chuveirosnc.com.br/pt-br>>. Acesso em: 17 out. 2018.

BALDESSAR, Silvia Maria Nogueira. **Telhado verde e sua contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada.** 2012. 125 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil. Setor de Tecnologia. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

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

BECKER, Michael; MARTINS, Terezinha da Silva; CAMPOS, Fabrício de; MORALES, Juan Carlos [Coord.]. **A pegada ecológica de São Paulo:** estado e capital e a família de pegadas. Brasília: WWF-Brasil, 2012. 114 p. Disponível em: <<http://www.wwf.org.br/?31603/a-pegada-ecologica-de-so-paulo--estado-e-capital>>. Acesso em: 18 set. 2018.

BERNARDES, Júlio. **Captação de água da chuva economiza 60 mil litros por ano.** Jornal da USP, 2017. Disponível em: <<https://jornal.usp.br/tecnologia/captacao-de-agua-da-chuva-economiza-60-mil-litros-por-ano/>>. Acesso em: 17 dez 2018.

BORTOLI, Guilherme de. **Entenda o que é Payback e saiba como calcular.** Canela: FLUA Software de Gestão Financeira, 2018. Disponível em: <<https://www.flua.com.br/blog/entenda-o-que-e-payback-e-saiba-como-calcular/>>. Acesso em: 21 out. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Coleta seletiva**. [s.d.]. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/catadores-de-materiais-reciclaveis/reciclagem-e-reaproveitamento>>. Acesso em: 23 set. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **A política dos 5 R's**. [s.d.]. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/informma/item/9410>>. Acesso em: 23 set. 2018.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei n. 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm>. Acesso em: 10 set. 2018.

BUFFON, Franco Turco. **Aproveitamento de águas pluviais**: efeito sobre o sistema de drenagem urbana. 2010. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Curso de Engenharia Civil. Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

CHAGAS, Julio Surreaux. O desperdício de água potável pelos consumidores no RS e o prejuízo à sociedade. **Conselho em Revista**: CREA-RS, Porto Alegre, n. 125, p. 45, maio/jun. 2018.

CHAVES, Iara Regina; SOUZA, Osmar Tomaz de. A gestão dos resíduos sólidos no Rio Grande do Sul: uma estimativa dos benefícios econômicos, sociais e ambientais. **Ensaio FEE**, Porto Alegre, v. 34, n.esp., p. 683-714, 2013.

COMPANHIA ESTADUAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA [Rio Grande do Sul]. **A CEEE Distribuição**. 2015b. Disponível em: <<http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/Component/Controller.aspx?CC=1755>>. Acesso em: 29 out. 2018.

COMPANHIA ESTADUAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA [Rio Grande do Sul]. **Simulador de consumo**. 2015a. Disponível em: <<http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/Component/Controller.aspx?CC=1221>>. Acesso em: 22 out. 2018.

COMPANHIA ESTADUAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA [Rio Grande do Sul]. **Tarifas e custos dos serviços**. 2017. Disponível em: <http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/Archives/Upload/Tarifas_B-2017-2_26152.pdf>. Acesso em: 29 out. 2018.

COMPANHIA RIOGRANDENSE DE SANEAMENTO. **Sistema tarifário**. Porto Alegre, 2018. Disponível em: <<http://www.corsan.com.br/sistematarifario>>. Acesso em: 21 out. 2018.

CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1992, Rio de Janeiro. **Agenda 21**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 1992. 383 p.

COSTA, Jefferson da; COSTA, Anderson; POLETO, Cristiano. Telhado verde: redução e retardo do escoamento superficial. **Revista de Estudos Ambientais** (Online), Blumenau, v. 14, n. 2esp, p. 50-56, 2012.

DIAS, Isabelly Cícera Souza. **Estudo da viabilidade técnica, econômica e social do aproveitamento de água da chuva em residências na cidade de João Pessoa.** 2007. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2007.

DORNELLES, Fernando. **Aproveitamento de água de chuva no meio urbano e seu efeito na drenagem pluvial.** 2012. 234 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

e-Cycle. **Reciclagem: o que é e qual a importância.** sd. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/2046-reciclagem>>. Acesso em: 18 dez 2018.

ECO D. **Casal brasileiro de empreendedores cria chuveiro ecológico.** Salvador: Instituto EcoDesenvolvimento, 2012. Disponível em: <<http://www.ecodesenvolvimento.org/posts/2012/maio/casal-brasileiro-de-empreendedores-criam-chuveiro>>. Acesso em: 17 out. 2018.

ECOTELHADO. **Banheiro de meio litro.** Porto Alegre, 2018a. Disponível em: <<https://ecotelhado.com/sistema/sistema-integrado-ecoesgoto/banheiro-de-meio-litro/>>. Acesso em: 15 set. 2018.

ECOTELHADO. **Manual e especificações do Sistema Hidromodular.** Porto Alegre, 2018m. Disponível em: <<https://ecotelhado.com/sistema/ecotelhado-telhado-verde/hidromodular/>>. Acesso em: 21 set. 2018.

ECOTELHADO. **Manual e especificações do Sistema Laminar Alto.** Porto Alegre, 2018i. Disponível em: <<https://ecotelhado.com/wp-content/uploads/2013/08/Manual-e-especifica%C3%A7%C3%B5es-do-Sistema-Laminar-Alto.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2018.

ECOTELHADO. **Manual e especificações do Sistema Laminar Médio.** Porto Alegre, 2018k. Disponível em: <<https://ecotelhado.com/sistema/ecotelhado-telhado-verde/sistema-laminar-medio/>>. Acesso em: 21 set. 2018.

ECOTELHADO. **Manual e especificações do Sistema Modular Alveolar Grelhado.** Porto Alegre, 2018e. Disponível em: <<https://ecotelhado.com/wp-content/uploads/2013/09/Manual-e-especifica%C3%A7%C3%B5es-do-Sistema-Modular-Alveolar-Grelhado.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2018.

ECOTELHADO. **Manual e especificações do Sistema Modular Alveolar Leve.** Porto Alegre, 2018g. Disponível em: <<https://ecotelhado.com/wp-content/uploads/2018/03/Manual-e-especificac%C3%A7%C3%B5es-do-Sistema-Modular-Alveolar-Leve.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2018.

ECOTELHADO. **Sistema de Esgoto Residencial Biológico com Vermifiltro.** Porto Alegre, 2018b. Disponível em: <<https://ecotelhado.com/sistema/sistema-integrado-ecoesgoto/vermifiltro/>>. Acesso em 15 set. 2018.

ECOTELHADO. **Telhado Verde Modular Alveolar Leve.** Porto Alegre, 2018f. Disponível em: <<https://ecotelhado.com/sistema/ecotelhado-telhado-verde/sistema-modular-alveolar-leve/>>. Acesso em: 20 set. 2018.

ECOTELHADO. **Telhado Verde Alveolar Grelhado**. Porto Alegre, 2018d. Disponível em: <<https://ecotelhado.com/sistema/ecotelhado-telhado-verde/sistema-modular-alveolar-grelhado/>>. Acesso em: 20 set. 2018.

ECOTELHADO. **Telhado Verde com Laminar Médio**. Porto Alegre, 2018j. Disponível em: <<https://ecotelhado.com/sistema/ecotelhado-telhado-verde/sistema-laminar-medio/>>. Acesso em: 21 set. 2018.

ECOTELHADO. **Telhado Verde Laminar Alto / cisterna ecológica**. Porto Alegre, 2018h. Disponível em: <<https://ecotelhado.com/sistema/ecotelhado-telhado-verde/sistema-laminar-alto/>>. Acesso em: 21 set. 2018.

ECOTELHADO. **Telhado Verde Ecológico / teto verde**. Porto Alegre, 2018c. Disponível em: <<https://ecotelhado.com/sistema/ecotelhado-telhado-verde/>>. Acesso em: 20 set. 2018.

ECOTELHADO. **Telhado Verde Hidromodular para coberturas**. Porto Alegre, 2018l. Disponível em: <<https://ecotelhado.com/sistema/ecotelhado-telhado-verde/hidromodular/>>. Acesso em: 21 set. 2018.

GABIATTI, Naiana Cristine; SILVA, Felipe Prates da; WARTCHOW, Dieter; MENEGUZZI, Álvaro. **Compostagem de resíduos sólidos urbanos: diagnóstico da situação no Rio Grande do Sul e contribuição ambiental**. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA MEIO AMBIENTE, 2., 2006, Porto Alegre, RS. Porto Alegre: Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler, Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul.

GEHLING, Gino Roberto. A emissão superficial zero de efluentes líquidos em condomínios litorâneos. In: Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 13, 2008, Belém. **Trabalhos técnicos...** Rio de Janeiro: ABES, 2008.

GOMES, Lidiani Luisi. **Importância da sustentabilidade ambiental na escolha de um imóvel: um estudo do litoral norte do Rio Grande do Sul**. 2012. 88 f. Porto Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Administração) - Escola de Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

GRÃ-BRETANHA. Department of the Environment, Transport and the Regions. **Sustainable development opportunities for change**. Sustainable constructions. London, 1998. Disponível em: <www.environment.detr.gov.uk/sustainable/construction/consult/index.htm>. Acesso em: 18 set. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa nacional por amostra de domicílios**. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/trabalhoerendimento/pnad2006/defaulttab_hist_brasil.shtm>. Acesso em: 18 set. 2018.

JACOBI, Pedro Roberto; BENSON, Gina Rizpah. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 25, n. 71. p.135-158, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v25n71/10>>. Acesso em: 01 out. 2018.

JAQUES, Reginaldo Campolino. **Qualidade da água de chuva no município de Florianópolis e sua potencialidade para aproveitamento em edificações**. 2005. 102 f. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental.

Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

JOHN, Vanderley Moacyr. **Reciclagem de resíduos na construção civil:** contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. 2000. 113 f. Tese (Livre Docência) - Departamento de Engenharia de Construção Civil. Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

KEELER, Marian; BURKE, Bill. **Fundamentos de projeto de edificações sustentáveis.** Porto Alegre: Bookman, 2012. 362 p.

LAGEMANN, Guinter. **Sistema integrado de reutilização de água, de forma adequada a seu grau de qualidade.** 2012. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia de Produção Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

MAGAZINE LUIZA. **Vaso sanitário com caixa acoplada petra âmbar branco.** São Paulo, [s.d.]. Disponível em: <<https://www.magazineluiza.com.br/vaso-sanitario-com-caixa-acoplada-petra-ambar-branco-/p/8486746/cj/vani/>>. Acesso em: 25 set. 2018.

MANO, Rafael Simões. **Captação residencial de água da chuva para fins não potáveis em Porto Alegre:** aspectos básicos da viabilidade e benefícios do sistema. 2004. 177 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004. Disponível em: <www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/8742/000586430.pdf?sequence=1>. Acesso em: 20 set. 2018.

MARIDO DE ALUGUEL EM JARAGUÁ DO SUL. **Banheiro: caixa acoplada ou válvula de parede?** Jaraguá do Sul, [s.d.]. Disponível em: <<http://maridodealugueljaragua.com.br/banheiro-caixa-acoplada-ou-valvula-de-parede/>>. Acesso em: 25 set. 2018.

MESQUITA, Renato. **Payback: O que é e como calcular o da sua empresa.** [S.l.]; Saia do Lugar, 2016. Disponível em: <<http://saiadolugar.com.br/payback/>>. Acesso em: 21 out.2018.

MORÉS, Fábio Vinícius. **Reaproveitamento da água de chuva em condomínios residenciais e comerciais na cidade de Porto Alegre.** 2006. 38 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Curso de Engenharia Civil. Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

MOTTA, Débora. **Um chuveiro a gás inovador e ecologicamente correto.** Rio de Janeiro: Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <<http://www.faperj.br/?id=2017.2.0>>. Acesso em: 17 out. 2018.

NAÇÕES UNIDAS. Assembléia Geral. **Resolution 42/187:** report of the World Commission on Environment and Development. [New York], 1987. p. 154-156.

NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL. **Conheça os novos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU.** 2015. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/conheca-os-novos-17-objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-da-onu/>>. Acesso em: 17 dez 2018.

OKAMURA, Edgar Koji. Economia de água em bacias sanitárias. **Revista Ciências do Ambiente On-Line**, Campinas, v. 2, n. 1, p. 11-19, 2006. Disponível em: <<http://sistemas.ib.unicamp.br/be310/index.php/be310/article/viewFile/26/14>>. Acesso em: 25 set. 2018.

PIO, Anícia Aparecida Baptistello; DOMINGUES, Antonio Félix; SARROUF, Lilian; PINA, Ricardo Santaliestra; GUSMAN JÚNIOR, Ulysses [Coord.]. **Conservação e reúso da água em edificações**. São Paulo: Prol Editora, 2005. 152 p.

PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal. **Decreto n. 18.611**, de 9 de abril de 2014. Regulamenta o controle da drenagem urbana... Porto Alegre, 2014. Disponível em: <<http://www2.portoalegre.rs.gov.br/cgi-bin/nph-brs?s1=000033997.DOCN.&l=20&u=/netahtml/sirel/simples.html&p=1&r=1&f=G&d=atos&SECT1=TEXT>>. Acesso em: 05 nov. 2018.

PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal. **Lei n. 10.506**, de 5 de agosto de 2008. Institui o Programa de Conservação, Uso Racional e Reaproveitamento das Águas. Porto Alegre, 2008. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/rs/p/porto-alegre/lei-ordinaria/2008/1051/10506/lei-ordinaria-n-10506-2008-institui-o-programa-de-conservacao-uso-racional-e-reaproveitamento-das-aguas-2009-05-26-versao-consolidada>>. Acesso em: 10 set. 2018.

PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal. **Lei Complementar n. 284**, de 27 de outubro de 1992. Institui o Código de Edificações de Porto Alegre. Porto Alegre, 1992. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/codigo-de-obras-porto-alegre-rs>>. Acesso em: 18 set. 2018.

PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal. Departamento Municipal de Água e Esgotos. **Fórmula de cálculo da conta consumo**. Porto Alegre, 2017b. Disponível em: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dmae/default.php?p_secao=363>. Acesso em: 19 out. 2018.

PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal. Departamento Municipal de Água e Esgotos. **Tarifas 2017**. Porto Alegre, 2017a. Disponível em: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dmae/default.php?p_secao=370>. Acesso em: 19 out. 2018.

RAMOS, Thiago Di Giorgio. **Períodos de retorno para investimentos em reservação de águas pluviais em edifícios residenciais**. 2016. 186 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Curso de Engenharia Civil. Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

ROAF, Sue. **Ecohouse: a casa ambientalmente sustentável**. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 408 p.

RUSSO, Mário Augusto Tavares. **Tratamento de resíduos sólidos**. Coimbra: Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, 2003. 196 p.

SANTOS, Daniel Costa dos. Os sistemas prediais e a promoção da sustentabilidade ambiental. 2002. 12 f. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 2, n.4, p. 7-18, 2002.

SÃO PAULO. Assembleia Legislativa. Secretaria Geral Parlamentar. Departamento de Documentação e Informação. **Decreto n. 12.342**, de 27 de setembro de 1978. Aprova o Regulamento a que se refere o artigo 22 do Decreto-Lei 211, de 30 de março de 1970, que dispõe sobre normas de promoção, preservação e recuperação da saúde no campo de competência da Secretaria de Estado da Saúde. São Paulo, 1978. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1978/decreto-12342-27.09.1978.html>>. Acesso em: 18 set. 2018.

SELLA, Marcelino Blacene. **Reúso de águas cinzas**: avaliação da viabilidade da implantação do sistema em residências. 2011. 87 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Curso de Engenharia Civil. Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

SILVA, Kaio Lucas da; COSTA, Natanaele da Silva; GARCIA, Pedro Lucas Montuani e; MUSSEL, Marcelo Correa; FERREIRA, Michael; VIANNA, Cristina Roscoe. Minhocário de baixo custo: uma alternativa viável para o reaproveitamento de resíduos orgânicos domésticos. **Meta**, Belo Horizonte, v.1, n.1, p. 386-392, 2016.

VAN BELLEN, Hans Michael. **Indicadores de sustentabilidade**: uma análise comparativa. 2002. 235 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Centro Tecnológico. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

ZANELLA, Luciano. **Plantas ornamentais no pós-tratamento de efluentes sanitários: Wetlands-construídos utilizando brita e bambu como suporte**. 2008. 219 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

ZUAZO, Pedro. **Captação de água da chuva gera economia de até 55%; veja potencial do seu telhado**. Extra, Editora Globo, 2017. Disponível em: <<https://extra.globo.com/noticias/rio/captacao-de-agua-da-chuva-gera-economia-de-ate-55-veja-potencial-do-seu-telhado-22083346.html>>. Acesso em: 17 dez 2018.