

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO CAMPUS MACAÉ
ENGENHARIA CIVIL

ERIK FELIPE PEREIRA TRAJANO

**PROPOSTA DE INSTALAÇÃO DE UM TELHADO VERDE SOB A ESTRUTURA DE
UM TELHADO CERÂMICO INTEGRANDO O APROVEITAMENTO DA ÁGUA DE
CHUVA E PAINÉIS FOTOVOLTAICOS**

MACAÉ

2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO CAMPUS MACAÉ
ENGENHARIA CIVIL

**PROPOSTA DE INSTALAÇÃO DE UM TELHADO VERDE SOB A ESTRUTURA DE
UM TELHADO CERÂMICO INTEGRANDO O APROVEITAMENTO DA ÁGUA DE
CHUVA E PAINÉIS FOTOVOLTAICOS**

ERIK FELIPE PEREIRA TRAJANO

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientadora: Beatriz Rohden Becker

MACAÉ, RJ – BRASIL
DEZEMBRO DE 2019

**PROPOSTA DE INSTALAÇÃO DE UM TELHADO VERDE SOB A ESTRUTURA DE
UM TELHADO CERÂMICO INTEGRANDO O APROVEITAMENTO DA ÁGUA DE
CHUVA E PAINÉIS FOTOVOLTAICOS**

ERIK FELIPE PEREIRA TRAJANO

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO CAMPUS MACAÉ, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO TÍTULO DE ENGENHEIRO CIVIL.

Examinado por:

Profa. Beatriz Rohden Becker, MSc. (Orientadora)
Universidade Federal do Rio de Janeiro – Campus Macaé

Prof. Rafael Malheiro da Silva do Amaral Ferreira, DSc.
Universidade Federal do Rio de Janeiro – Campus Macaé

Tec. Eletromec. Vinícius Scaringi
EcoResidência

MACAÉ, RJ – BRASIL
DEZEMBRO DE 2019

“O que eu faço, é uma gota no meio do oceano. Mas sem ela, o oceano será menor”

(Madre Teresa)

AGRADECIMENTOS

Chegou a hora de agradecer e por isso começo por Deus que esteve sempre ao meu lado em todos os momentos para garantir que minha meta seria alcançada.

Não esqueço o papel que a Universidade teve ao longo de todo meu percurso e por isso agradeço os recursos e o apoio que sempre me ofereceu.

A todos os professores e orientadores que acompanharam meu percurso ao longo dos últimos anos eu deixo uma palavra sincera de gratidão, porque sem essa paciência e sabedoria eu jamais seria esta pessoa tão realizada.

À minha família e a todos os meus amigos de verdade eu quero que saibam que reconheço tudo que fizeram por mim, a força que inculcaram no meu pensamento para não desistir e o conforto de saber que nunca estarei só e serei sempre capaz de tudo por maiores que sejam as dificuldades.

A quem não mencionei, mas fez parte do meu percurso eu deixo um profundo agradecimento porque com toda certeza tiveram um papel determinante nesta etapa da minha vida.

RESUMO

O processo de urbanização e o aumento das construções são responsáveis por inúmeros problemas ambientais que produzem diversos impactos no meio urbano. Diante desse cenário, a necessidade de buscar soluções sustentáveis que possam compensar ou amenizar os impactos negativos causados pela urbanização torna-se fundamental. A partir dessa problemática, o presente estudo teve como objetivo analisar a viabilidade (técnica e econômica) de instalação de um telhado verde integrado à tecnologia fotovoltaica com captação e aproveitamento da água da chuva, a partir de uma estrutura de madeira de telhado cerâmico existente, considerando uma casa hipotética. Por meio do dimensionamento, levantamento de custos e cálculo do tempo de retorno do investimento (*payback*) dos sistemas, buscou-se pelos resultados encontrados e analisados demonstrar que, apesar do elevado investimento inicial, a integração dos sistemas gera diversos benefícios tanto para o usuário quanto para seu entorno, o que justifica o valor do investimento. Os resultados indicaram que o custo de implantação do telhado verde foi de cerca de 70% do custo total dos três sistemas, apresentando um *payback* de 8-9 anos. No entanto, quando considerando os sistemas propostos integrados e a redução de consumo de energia elétrica que o telhado verde oferece por melhorar o conforto térmico, o tempo de retorno do investimento para instalação dos sistemas cai para 5-6 anos.

Palavras-chave: Soluções sustentáveis, Telhado verde, Urbanização, Energia Solar, Aproveitamento de águas pluviais

ABSTRACT

The urbanization process and the increase of buildings are responsible for numerous environmental problems that produce several impacts on the urban environment. Given this trend, there is a growing need for sustainable solutions that can compensate or mitigate the negative impacts caused by urbanization becomes essential. Regarding this problem, the present study aimed to analyze the feasibility (technical and economic) of installing a green roof integrated with photovoltaic technology and rainwater collection, from an existing ceramic roof wood structure, considering a hypothetical house. Through dimensioning, costs survey and calculation of the investment return time (payback) of the systems, it was sought by the results found and analyzed to demonstrate that despite the high initial investment, the integration of systems generates several benefits for both the user and the surroundings, which justifies the value of the investment. The results indicated that the cost of implementing the green roof was about 70% of the total cost of the three system, showing a payback of 8-9 years. However, when considering the proposed integrated systems and the reduction in electricity consumption that the green roof offers for improving thermal comfort, the payback time for installing the systems drops to 5-6 years.

Key-words: Sustainable solutions, Green roof, Urbanization, Solar Energy, Rainwater harvesting

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação simplificado do ciclo hidrológico.....	20
Figura 2: Mudanças provocadas pela urbanização no balanço hídrico.....	23
Figura 3: Comparação entre os sistemas de drenagem convencional e compensatório.	24
Figura 4: Reservatório de retenção subterrâneo.	26
Figura 5: Reservatório de retenção a céu aberto.	26
Figura 6: Trincheira de Infiltração.....	28
Figura 7: Perfil de uma vala de infiltração.	29
Figura 8: Corte típico com descrição das camadas dos pavimentos permeáveis.	30
Figura 9: Imaginário dos Jardins Suspensos da Babilônia, construído no século VI a.C.	32
Figura 10: Foto em infravermelho, a cor azul representa a cobertura verde (menor temperatura), enquanto a cor vermelha representa a laje (maior temperatura).	34
Figura 11: Ilustração das camadas dos diferentes tipos de telhados verdes.	36
Figura 12: Camadas de um Telhado Verde.....	39
Figura 13: Balanço Hídrico de um telhado verde comparado a um tradicional.	40
Figura 14: Condições de escoamento - cobertura com vegetação e sem vegetação. ...	42
Figura 15: Sistema de aproveitamento de água da chuva por telhados.....	47
Figura 16: Planta da Casa.....	54
Figura 17: Esquemático Sistema Alveolar Grelhado.	56
Figura 18: Edificação com telhado cerâmico.....	57
Figura 19: Edificação sem telhado.	57
Figura 20: Base formada com placas de compensado.	58
Figura 21: Fechamento lateral com placa cimentícia.	59
Figura 22: Exemplificação das camadas da estrutura de suporte.	60
Figura 23: Superfície Inclinada.....	62
Figura 24: Ábaco para determinação do diâmetro de condutores verticais para calhas com funil de saída.	65

Figura 25: Cisterna modular vertical.....	72
Figura 26: Dados do sistema proposto.....	73
Figura 27: Gráfico de CONSUMO VS ESTIMATIVA DE GERAÇÃO.	74
Figura 28: Orçamento realizado com a empresa EcoResidência.....	79
Figura 29: Gráfico da porcentagem de cada sistema em relação ao custo total.....	85

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Vantagens dos Telhados Verdes.	43
Quadro 2: Desvantagens dos Telhados Verdes.....	44
Quadro 3: Parâmetros da curva IDF para cidade de Macaé.	62
Quadro 4: Previsão de consumo de água.	66
Quadro 5: Consumo não potável, semanal e mensal.....	69
Quadro 6: Consumo médio mensal de energia elétrica.	70
Quadro 7: Vazão de projeto.	70
Quadro 8: Dimensionamento do reservatório.....	71
Quadro 9: Levantamento quantitativo fornecido pela empresa EcoResidência do sistema fotovoltaico.	73
Quadro 10: Descrição dos materiais.	74
Quadro 11: Composição de custo por m ² para a retirada de telha cerâmica e colocação da base de compensado	76
Quadro 12: Custo da mão de obra por m ² para execução da impermeabilização	76
Quadro 13: Valores de materiais e serviços.....	77
Quadro 14: Valores de materiais sem custos de serviços de instalação.....	77
Quadro 15: Custos totais para implantação do Sistema de Telhado Verde.	78
Quadro 16: Composição de custo por metro da instalação da calha	78
Quadro 17: Retorno do investimento para o sistema de Telhado Verde.....	80
Quadro 18: Água e esgoto- Estrutura tarifária para edificações domiciliares da cidade de Macaé.	81
Quadro 19: Retorno financeiro do investimento para o sistema de captação de água da chuva.....	81
Quadro 20: Retorno financeiro do investimento para o sistema fotovoltaico.....	82
Quadro 21: Retorno financeiro do sistema fotovoltaico integrado a telhado verde.	83
Quadro 22: Tempo de retorno financeiro dos sistemas integrados	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resumo das consequências hidrológicas da urbanização.....	22
Tabela 2: Classificação dos telhados verdes de acordo com a sua inclinação.	35
Tabela 3: Critérios de classificação dos telhados verdes.....	35
Tabela 4: Comparação entre tipos de Telhado Verde.....	37
Tabela 5: Coeficiente de <i>Runoff</i> para telhado verde.	60
Tabela 6: Coeficientes de rugosidade.	63
Tabela 7: Capacidades de calhas semicirculares com coeficiente de rugosidade $n=0,011$ (vazão em L/min).....	64
Tabela 8: Componentes hidráulicos adotados no projeto.	71
Tabela 9: Orçamento por sistema.	85

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
a.C.	Antes de Cristo
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDF	Intensidade-Duração-Frequência
IGRA	<i>International Green Roof Association</i>
NBR	Normas Brasileiras

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. OBJETIVOS.....	17
2.1 Objetivo Geral.....	17
2.2 Objetivos Específicos	17
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
3.1 Processo de urbanização e seus principais impactos	18
3.2 Ciclo Hidrológico Urbano e Soluções Sustentáveis em Drenagem Urbana... 19	
3.3 Telhado verde.....	31
3.3 Captação e Aproveitamento da Água da Chuva.....	44
3.4 Energia Solar Fotovoltaica.....	48
3.5 Integração entre o Sistema Fotovoltaico e o Telhado Verde	51
4. METODOLOGIA	53
4.1 Descrição da Casa Hipotética	53
4.2 Instalação do Telhado Verde.....	55
4.2.1 Composição do Sistema	55
4.2.2 Sistema construtivo do Telhado Verde	56
4.3 Sistema de captação de água pluvial	60
4.3.1 Calhas.....	63
4.3.2 Condutores verticais e horizontais	64
4.3.3 Previsão de consumo	65
4.3.4 Reservatório de armazenamento.....	66
4.4 Sistema de Painéis Fotovoltaicos Conectados à Rede	67

4.6 Viabilidade econômica.....	68
5. ANÁLISE DE RESULTADOS E DISCUSSÕES	69
5.1 Previsão do consumo não potável de água.....	69
5.2 Previsão de consumo de energia elétrica.....	69
5.3 Dimensionamento e levantamento quantitativo dos componentes hidráulicos	70
5.4 Dimensionamento e levantamento quantitativo dos componentes do sistema fotovoltaico	72
5.5 Levantamento quantitativo de material do telhado verde	74
5.6 Levantamento de custos de serviços e materiais	75
5.6.1 Telhado Verde	75
5.6.2 Sistema de captação de água da chuva	78
5.6.3 Sistemas de Painéis Fotovoltaicos	79
5.7 Análise da viabilidade econômica do sistema	79
5.7.1 Telhado Verde	79
5.7.2 Sistema de captação e reaproveitamento de água da chuva	80
5.7.3 Sistema fotovoltaico.....	81
5.7.4 Todos os sistemas integrados	84
5.8 Síntese dos Resultados.....	84
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	88
7. TRABALHOS FUTUROS	90
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91
ANEXO A – simulação de consumo de energia elétrica pela ENEL.....	96

1. INTRODUÇÃO

O processo de urbanização acelerado e desordenado dos grandes centros urbanos provoca uma diminuição na cobertura vegetal, acelera a degradação dos recursos naturais e gera diversos danos ao ciclo hidrológico, que ocasionam grandes mudanças climáticas. A alteração do meio natural às necessidades do homem e a introdução da infraestrutura urbana resultou no aumento da impermeabilização do solo, na diminuição de infiltração da água, e na necessidade de fornecimento de águas aos edifícios (TEXEIRA, 2013). O ecossistema que antes era capaz de absorver a água das chuvas e o excesso da radiação solar, sofreu um grande desequilíbrio.

Segundo Willes (2014), o crescimento das cidades com a diminuição da cobertura vegetal natural dos solos, gera diversos fatores que interferem diretamente na qualidade de vida dos homens, tais como: (i) O aumento do escoamento de água nas vias pluviais devido à impermeabilização dos solos, contribuindo para as grandes enchentes; (ii) O aumento da poluição atmosférica, com o surgimento das ilhas de calor, gerando mais gastos com climatização e o aumento no consumo de energia e (iii) Gera uma paisagem carregada de edifícios, densa e monocromática como é o caso das grandes capitais.

Estes fatos observados mostram que o homem acaba gerando prejuízos, muitas vezes irreversíveis, no meio em que vive buscando atender a sua necessidade imediata. Segundo Catuzzo (2013), “Observa-se que há uma necessidade urgente de se redefinir os padrões do ambiente urbano, pois a falta de aplicabilidade da legislação urbana, o crescimento desordenado, a verticalização e a redução dos espaços verdes impactam cada vez mais a vida do cidadão”. Deve-se, portanto, buscar soluções que sejam benéficas tanto para o meio ambiente quanto para as cidades e que possibilitem que ambas convivam integradas.

Considerando que hoje moramos em cidades adoecidas pelo excesso de poluentes, que estas são grandes massas impermeáveis e sem cor, as coberturas verdes cumprem um importante papel ao aumentar a área permeável da malha urbana. Além

disso, podem contribuir para diminuir o uso de aparelhos de ar condicionado nas edificações, para diminuir a temperatura do microclima, para atenuar os efeitos das ilhas de calor e a criar ambientes de convivência, entre outros benefícios que se tem notícia (FERRAZ, 2012).

A partir destas considerações sobre o processo de urbanização e seus impactos, este trabalho teve como objetivo analisar a viabilidade (técnica e econômica) de instalação de um sistema de telhado verde integrado à tecnologia fotovoltaica com captação e reaproveitamento da água da chuva, em uma estrutura de telhado cerâmico existente, considerando uma casa hipotética.

Por meio do dimensionamento, levantamento de custos e cálculo do tempo de retorno do investimento (*payback*) dos sistemas, buscou-se pelos resultados encontrados e analisados demonstrar que apesar do elevado investimento inicial, a integração dos sistemas gera diversos benefícios tanto para o usuário quanto para seu entorno, que justifica o custo do investimento.

A importância de se pesquisar o uso de construção sustentável e adaptação das estruturas urbanas se deve principalmente pelo fato de repensar o contexto urbano das cidades, bem como seus espaços verdes, a preocupação com a eficiência energética e o uso consciente da água. Uma vez que, o aumento da urbanização resultou na redução das áreas verdes, aumentando o impacto ambiental e o uso predatório dos recursos hídricos e do consumo de energia.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Essa pesquisa busca analisar a viabilidade (técnica e econômica) de instalação de um telhado verde a partir da estrutura de madeira existente de um telhado cerâmico, considerando uma casa hipotética.

2.2 Objetivos Específicos

- Análise da viabilidade (técnica e econômica) do telhado verde integrado à tecnologia fotovoltaica;
- Dimensionamento e orçamentação da instalação do telhado verde na casa hipotética;
- Dimensionamento e orçamentação do sistema de captação e reaproveitamento de água da chuva;
- Análise da viabilidade (técnica e econômica) do telhado verde com captação e reaproveitamento de água da chuva;
- Cálculo do retorno financeiro (*payback*) dos sistemas propostos, de forma isolada e integrada.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Processo de urbanização e seus principais impactos

O processo de urbanização teve início com a Revolução Industrial e se caracterizou como um processo lento e restrito em algumas regiões do mundo, mas foi a partir da metade do século XX que esse fenômeno se intensificou nos países desenvolvidos e se iniciou de forma acelerada e desordenada nos países subdesenvolvidos, maioria latino-americanos e asiáticos (SILVA *et al.*, 2014). No Brasil, foi a partir de 1950, com as políticas desenvolvimentistas e elevados investimentos nas indústrias que ocorreu uma grande migração da população do campo para a cidade. De acordo com o último censo demográfico realizado em 2010, pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE), cerca de 84,36% da população brasileira reside em áreas urbanas (IBGE, 2010).

A urbanização pode ser definida como um processo de desenvolvimento econômico e social resultado da transformação de uma economia rural para uma economia de serviços concentrada em áreas urbanas (TUCCI, 2007). Como consequência do processo de desenvolvimento urbano e aumento das construções, verifica-se uma mudança drástica do meio urbano decorrente da concentração populacional que impacta o meio natural. Esse fenômeno vem desencadeando sérios problemas ambientais que produzem diversas consequências sobre a fauna, a flora, o relevo, o clima e a hidrologia. Entre os impactos negativos que o processo de urbanização pode causar ao meio ambiente podemos citar poluições, desmatamentos, mudanças climáticas, entre outros.

Segundo Santiago (2014), dentre os principais impactos gerados pela urbanização destacam-se: a produção de resíduos sólidos, a contaminação dos rios e bacias hidrográficas, a poluição do ar, a destruição ecossistêmica e, sobretudo, as mudanças climáticas, o aumento do efeito estufa e do aquecimento global. Em relação à questão climática, Catuzzo (2013) observa que as alterações como a formação de ilhas de calor,

resultante do aumento da superfície de absorção térmica são causadas pelas construções, falta de áreas verdes, concreto, pavimentação e do envidraçamento dos prédios e que provocam aumento da temperatura, principalmente nos centros urbanos das grandes metrópoles como é o caso de São Paulo. Tal aumento de temperatura causa maior concentração e torrencialidade das chuvas nas áreas densamente urbanizadas, enchentes e o agravamento da poluição. Outro impacto causado pela urbanização, que é uma das principais causas das cheias urbanas é o processo de impermeabilização do solo, na formação das cidades. Conforme Getter e Rowe (2006), aproximadamente dois terços de toda área impermeabilizada é formada por superfícies de estacionamento, vias pavimentadas e construções. Ainda de acordo com os autores, a perda de vegetação junto com o excesso de água pluvial que não é absorvida pelas áreas impermeabilizadas e a capacidade de alguns materiais em absorver calor, elevam as temperaturas internas das edificações acima das temperaturas normais de conforto.

3.2 Ciclo Hidrológico Urbano e Soluções Sustentáveis em Drenagem Urbana

Conforme Silveira (1993, p. 35) “O ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre”. A principal fonte de energia é o sol, que, por meio da radiação infravermelha, fornece grandes quantidades de calor, absorvidas pela atmosfera e pela superfície do planeta (MIGUEZ *et al.*, 2015). O ciclo da água, em condições naturais pode ser considerado um sistema em equilíbrio, e seus diversos processos ocorrem de forma contínua.

Segundo Lima (2008, p. 36) “o ciclo da água envolve vários e complicados processos hidrológicos: evaporação, precipitação, interceptação, transpiração, infiltração, percolação, escoamento superficial” (Figura 1).

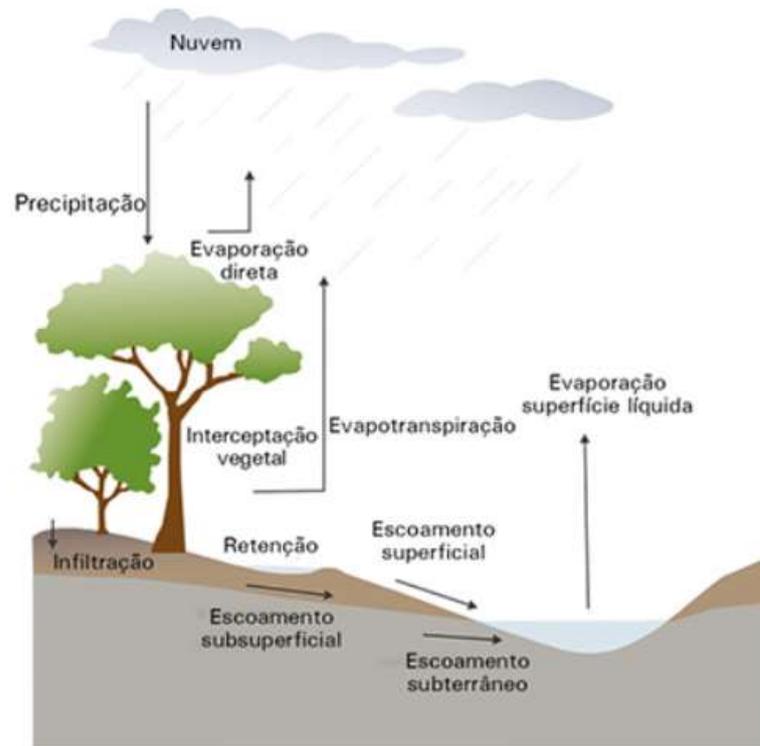


Figura 1: Representação simplificado do ciclo hidrológico.
 Fonte: Miguez *et al.* (2015).

A água pode ser encontrada em três estados, sólido, líquido ou gasoso e em diversos locais, como na atmosfera, na superfície da Terra, na subsuperfície ou nos oceanos, mares e lagos (PINTO, 1976). O conjunto de processos físicos e fisiológicos, sob determinadas condições meteorológicas, que possibilita a transformação da água do estado líquido ou sólido em vapor atmosférico, é denominado evapotranspiração (MIRANDA *et al.*, 2010).

Quando a umidade relativa do ar atinge seu ponto de saturação, inicia-se o processo de condensação, pelo qual o vapor de água presente no ar é transformado em água líquida, dando origem a formação de nuvens. Estas nuvens, sob certas condições meteorológicas, causam precipitação (MIGUEL *et al.*, 2009). Desta maneira, por meio da precipitação, que pode ocorrer sob a forma de chuva, neve ou granizo, a água retida na atmosfera retorna a superfície.

Parte da precipitação, no seu trajeto em direção a superfície terrestre, sofre interceptação pela cobertura vegetal, de onde evapora, ou por ação dos ventos, uma parcela pode tornar a precipitar para o solo (SILVEIRA, 2002). Segundo Miranda *et al.* (2010), a interceptação pode ser definida como sendo “a capacidade que a vegetação ou outro tipo de obstáculo possui de reter a chuva nas suas copas”.

A água que atinge a superfície segue diferentes caminhos, uma quantidade pode evaporar, penetrar no solo ou escoar superficialmente. Da parcela que infiltra uma parte é aproveitada pelos vegetais, e a outra, reabastece os lençóis subterrâneos (SILVEIRA, 1976). Já o escoamento superficial é composto pela parte da precipitação que não infiltra no solo, que por ação da gravidade, se desloca em direção as cotas mais baixas da superfície.

No entanto, segundo Neto (2016), a representatividade de algumas parcelas que compõem o ciclo hidrológico é alterada na medida em que os espaços de uma dada bacia hidrográfica passam pelo processo de urbanização. A impermeabilização massiva de áreas, a ocupação das planícies de inundação, a remoção da vegetação e a canalização de corpos hídricos naturais, trazidos pelo processo de urbanização, fazem com que os processos de evaporação, evapotranspiração, infiltração, interceptação vegetal e retenção tenham sua atuação reduzida, quando não suprimida.

Segundo Castro (2011), quando uma área natural sofre urbanização com a construção de ruas, estacionamentos, prédios, telhados, etc., o ciclo hidrológico do sistema é alterado significativamente. Isso ocorre, principalmente devido à introdução de superfícies impermeáveis no espaço urbano, que reduzem a possibilidade de infiltração das águas pluviais e as taxas de evapotranspiração, os caminhos naturais de escoamento são eliminados, e há um aumento nas vazões e no volume das águas pluviais que são escoadas superficialmente (TASSI *et al.*, 2014). Tal cenário, portanto, ocasiona um aumento do escoamento superficial, o qual intensifica a erosão do solo e o processo de assoreamento e também dificulta a recarga dos lençóis freáticos. Outros

agravantes são o aumento da ocorrência de alagamentos e enchentes, e a poluição das águas superficiais e subterrâneas (Tabela 1).

Tabela 1: Resumo das consequências hidrológicas da urbanização.

CAUSAS	EFEITOS
Impermeabilização	Mudanças climáticas
	Redução da infiltração, prejudicando a recarga do lençol freático
	Aumento do escoamento superficial o qual intensifica a erosão do solo e o processo de assoreamento
	Maiores picos de vazão, aumentando a ocorrência de alagamentos e enchentes
	Diminuição das taxas de evapotranspiração
Redes de Drenagem	Maiores picos a jusante
	Aumento da velocidade de escoamento
Resíduos sólidos urbanos	Entupimento de galerias, bueiros e bocas de lobo
	Degradação da qualidade das águas
Redes de esgotos sanitários deficientes	Degradação da qualidade das águas
	Doenças de veiculação hídrica
Ocupação de várzeas e fundos de vale	Maiores picos de vazão
	Maiores prejuízos financeiros
	Doenças de veiculação hídrica

Fonte: adaptado de Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM, 2006).

Assim, com o avanço da urbanização das bacias hidrográficas, notam-se alterações que impactam gravemente o ciclo hidrológico, alterando seu balanço hídrico devido, principalmente, ao aumento significativo do escoamento superficial (*runoff*) e pela redução da infiltração das águas pluviais e da evapotranspiração (Figura 2).

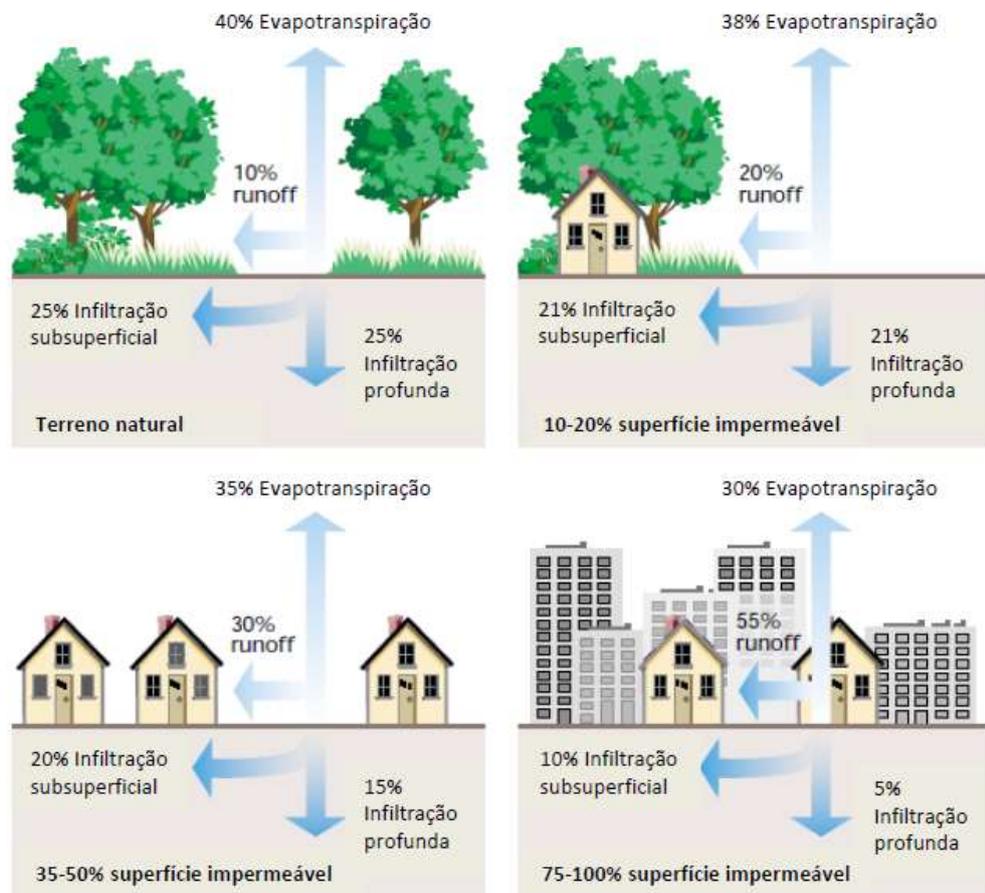


Figura 2: Mudanças provocadas pela urbanização no balanço hídrico.
Fonte: Paz (2004).

Os sistemas clássicos de drenagem urbana têm a função de captar e conduzir as águas pluviais através de condutos subterrâneos artificiais, escoando as águas pluviais do meio urbano de forma rápida e descarregando-as em corpos d'água. Para Miguez *et al.* (2015, p. 264) “essa lógica provoca a aceleração dos escoamentos, a diminuição do tempo de concentração, o aumento da descarga de pico, o agravamento das cheias a jusante e a deterioração dos ecossistemas”. Com o intuito de mitigar esses efeitos negativos, as técnicas compensatórias surgem como novas formas de gestão das águas pluviais ou como complementação para a drenagem convencional. Foi a partir dos anos 70, principalmente na Europa e América do Norte, que surgiram as chamadas técnicas compensatórias, que visam neutralizar os efeitos negativos da urbanização sobre os

processos hidrológicos, trazendo benefícios tanto para a qualidade de vida quanto para a preservação ambiental (BAPTISTA, *et al.*, 2011). As técnicas compensatórias são soluções que buscam reestabelecer condições da bacia próximas às naturais se mostram eficientes, sustentáveis e integradas à paisagem urbana que, diferentemente da drenagem convencional, em que a lógica tem como princípio básico a gestão das águas pluviais somente em situações de cheias, implicando alterações nos cursos naturais dos rios e elevados custos de canalização, a drenagem compensatória busca diminuir os impactos da urbanização por meio do aumento das taxas de infiltração da água pluvial no solo e a desaceleração do escoamento superficial das águas, recuperando o hidrograma das condições de pré-urbanização (TUCCI, 1995) (Figura 3).

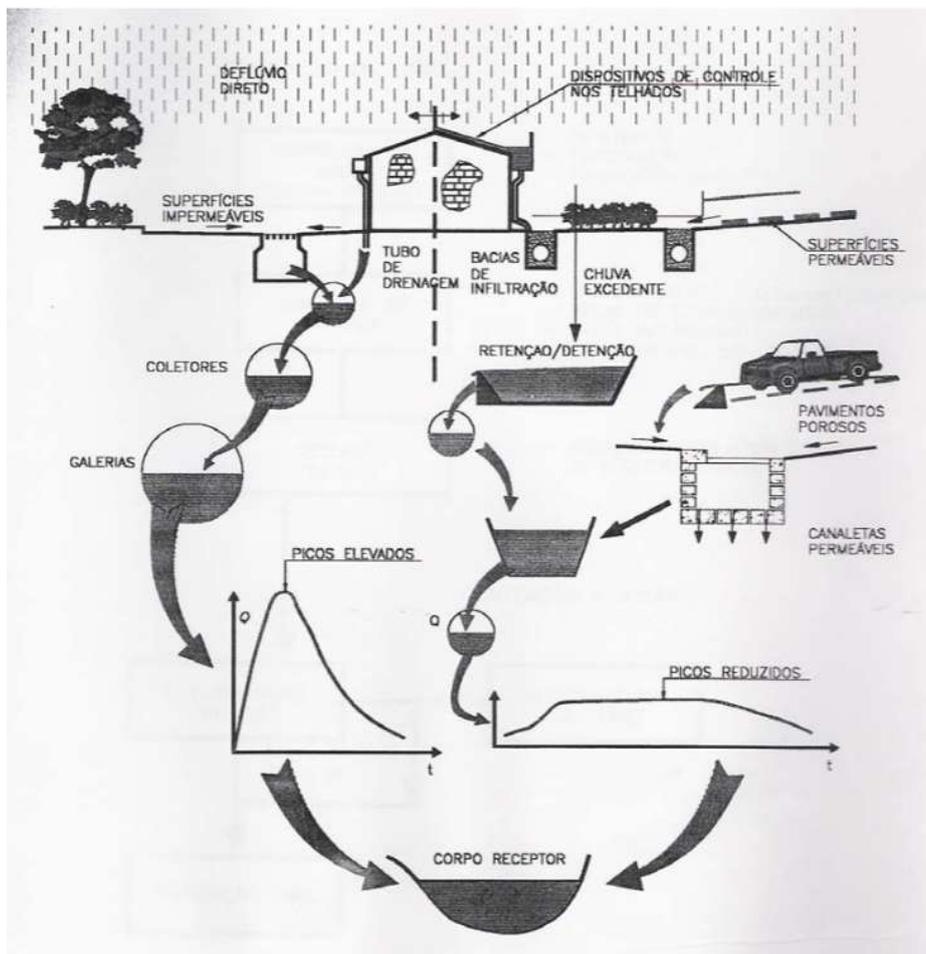


Figura 3: Comparação entre os sistemas de drenagem convencional e compensatório.
Fonte: Canholi (1995).

Para Miguez *et al.* (2015), entre as técnicas compensatórias, dois grandes grupos se destacam:

- *Armazenamento*: privilegia a armazenagem e a recuperação da capacidade de retenção, como os reservatórios de detenção, reservatórios de retenção e reservatórios de lote.
- *Infiltração*: busca a compensação dos impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico, como as trincheiras de infiltração, valas de infiltração, pavimentos permeáveis e telhados verdes.

O processo de escolha de qual solução alternativa utilizar em um contexto específico, deve levar em consideração três critérios: as condições físicas locais, o modelo de urbanismo e os impactos da solução alternativa sobre o sistema de drenagem e o meio ambiente (NASCIMENTO *et al.*, 1997). Ainda, segundo Miguez *et al.* (2015), esses dispositivos possuem um caráter multifuncional, pois além de funcionarem como boas soluções para complementar a drenagem tradicional, podem ser projetados como áreas de recreação em tempo seco.

A seguir, serão apresentadas algumas das técnicas mencionadas, destacando-se suas principais características.

Reservatórios de detenção

As bacias de detenção são reservatórios de acumulação das águas da chuva por um curto período de tempo, que contribuem para redistribuir as vazões ao longo de um tempo maior Miguez *et al.* (2015). Estas estruturas além de terem como função principal o amortecimento das ondas de cheias e a redução das inundações urbanas, podem ser utilizados para a captação de sedimentos e detritos, assim como para a recuperação da qualidade das águas dos diferentes cursos d'água (ABCP, 2013).

A Figura 4 apresenta um exemplo de reservatório de detenção subterrâneo, normalmente utilizado em regiões onde não existem áreas para implantação de

reservatório a céu aberto. Já a Figura 5 apresenta um exemplo de reservatório de retenção a céu aberto, que podem ser utilizados como áreas de recreação em tempo seco.



Figura 4: Reservatório de retenção subterrâneo.
Fonte: ABCP (2013).



Figura 5: Reservatório de retenção a céu aberto.
Fonte: ABCP (2013).

Reservatórios de Retenção

As bacias de retenção são estruturas construídas com a função de reter e tratar no reservatório o escoamento de um dado evento de cheia, por meio da sedimentação e

dos mecanismos de decomposição (MIGUEZ *et al.*, 2015). O reservatório de retenção pode ser temporário ou possuir um volume permanente. O volume permanente além de ter a vantagem de permitir uma deposição adicional, possibilita um tratamento biológico nos intervalos entre os eventos de precipitação (LIMA *et al.*, 2006). Ainda segundo Lima *et al.* (2006), a inclusão de bacias de retenção, em projetos de drenagem, tem a vantagem de permitir, devido a sua multifuncionalidade, a redução do pico do escoamento, evitando perturbações a jusante, a redução da carga de contaminante do escoamento, o controle da erosão, a melhoria na paisagem, criando espaço recreativo e de lazer, o reabastecimento dos aquíferos, entre outras aplicações.

Reservatório de Lote

É um outro exemplo de reservatório de armazenamento, mas em escala local, auxiliando no controle da geração do escoamento na fonte (MIGUEZ *et al.*, 2015). A finalidade principal desta solução é de promover a diminuição dos volumes de água gerado pela chuva, atuando como um dispositivo de detenção e possibilitando a recuperação da capacidade natural de armazenamento perdida devido à impermeabilização do solo (ABCP, 2013). A água armazenada no reservatório pode ser devolvida ao sistema de microdrenagem da rede pública ou pode ser utilizada para fins não potáveis, como volume de combate a incêndio, lavagem de pisos e irrigação de áreas verdes (MIGUEZ *et al.*, 2015).

Trincheira de infiltração

As trincheiras de infiltração têm seu princípio de funcionamento baseado no armazenamento temporário da água até a sua infiltração no solo, apresentando um bom desempenho na redução dos volumes escoados e das vazões máximas de enchentes (MIGUEZ *et al.*, 2015).

Para Silveira (2002), as trincheiras de infiltração têm a função principal de reduzir as descargas de pico de um escoamento superficial e propiciar a recarga do aquífero, e

também tem a importante função de promover o tratamento da água do escoamento pela infiltração do solo.

Tais estruturas são constituídas de valas permeáveis preenchidas com material granular, formando uma área de armazenamento para posterior infiltração das águas pluviais (USDoD, 2004). Um filtro geotêxtil é colocado envolvendo o material de enchimento, que é recoberto por uma camada de seixos, formando uma superfície drenante. Além da função estrutural, o geotêxtil impede a entrada de material fino na estrutura, reduzindo o risco de colmatagem, podendo ainda servir como anticontaminante (BALADES *et al.*, 1998). A Figura 6 apresenta uma trincheira de infiltração de forma esquemática.

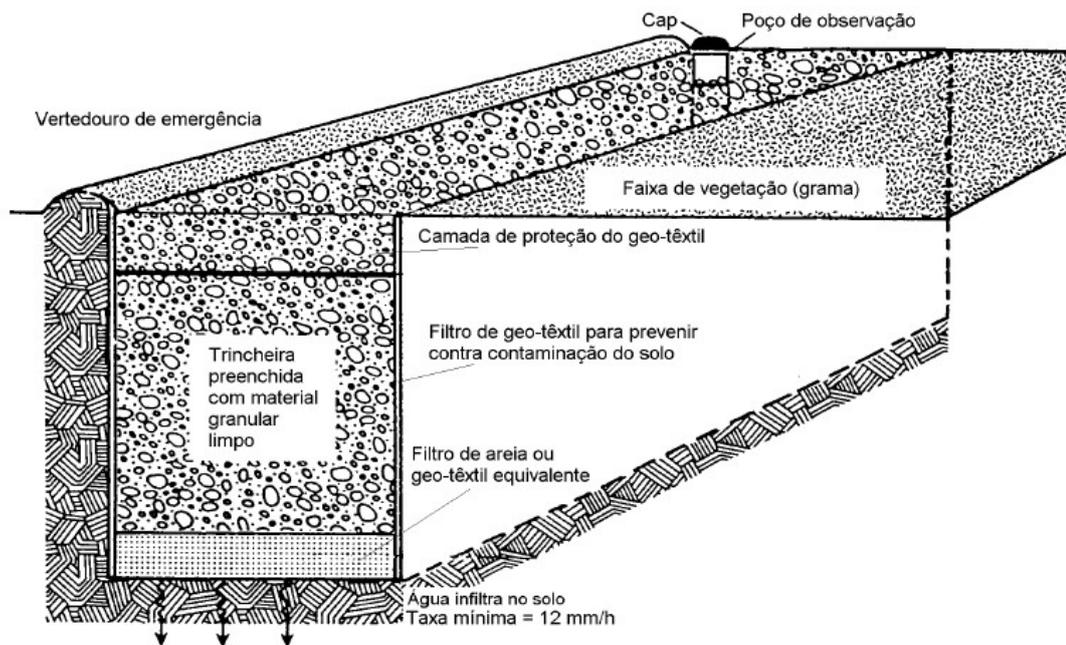


Figura 6: Trincheira de Infiltração.
Fonte: Schueler (1987).

Estes dispositivos são recomendados para o uso em áreas tanto residências quanto comerciais de média a alta densidade de ocupação, em que a permeabilidade do solo seja capaz de garantir uma taxa infiltração moderada, e onde o lençol freático tenha nível suficiente baixo para evitar a sua contaminação (MIGUEZ *et al.*, 2015).

Vala de infiltração

As valas são estruturas formadas por simples depressões escavadas no solo com o objetivo de recolher as águas pluviais e efetuar seu armazenamento temporário e favorecer sua infiltração (BAPTISTA *et al.*, 2011) (Figura 7). As depressões funcionam como pequenos canais em que o escoamento pluvial é desacelerado e infiltrado parcialmente ao longo do percurso. Segundo Miguez *et al.* (2015), a principal função das valas de infiltração é transportar o escoamento superficial ao longo de estradas, podendo, além disso, contribuir para a redução da velocidade do escoamento superficial e para o aumento do tempo de concentração e da infiltração. As valas de infiltração são estruturas de fácil execução, com um custo relativamente baixo e indicadas para utilização ao longo de vias. Por serem revestidas com vegetação possuem um efeito paisagístico interessante e são facilmente integrados ao espaço urbano.

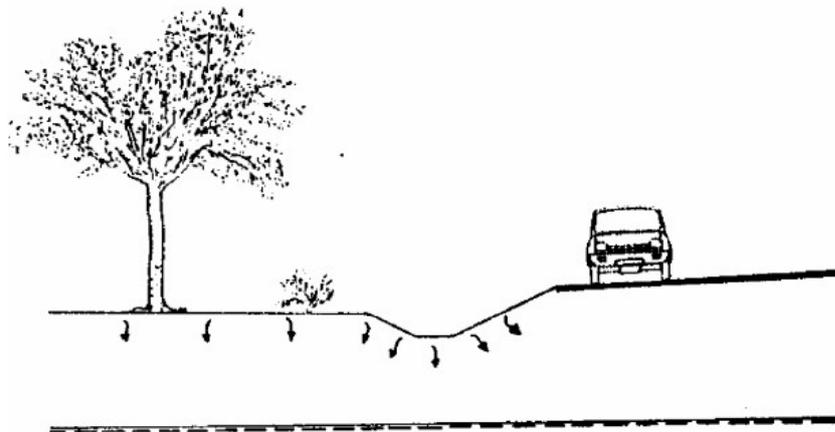


Figura 7: Perfil de uma vala de infiltração.
Fonte: Urbonas e Stahre (1993).

Pavimento permeável

Pavimento permeável é um dispositivo de infiltração através do qual o escoamento superficial é desviado por meio de uma superfície permeável para dentro de um reservatório de pedras sob a superfície do terreno (URBONAS e STAHRÉ, 1993). Este tipo de dispositivo pode ser utilizado nos passeios, estacionamento, e locais com tráfego

(SHUELLER, 1987). Em locais com grande tráfego, esse tipo de pavimento pode ser deformado e aos poucos colmatado, tornando-se impermeável com o decorrer do tempo.

Os revestimentos permeáveis são uma opção para o uso de superfícies impermeáveis tradicionalmente adotadas, como asfalto e concreto, utilizadas na pavimentação de calçadas, estacionamentos, quadras esportivas e até mesmo no interior dos lotes (MIGUEZ *et al.*, 2015). Segundo Shueller (1987), os pavimentos permeáveis são formados por três camadas, uma de agregado fino ou médio, outra de agregado graúdo e a camada do pavimento permeável propriamente dito (Figura 8). E podem ser classificados, segundo Urbonas e Stahre (1993), basicamente em três tipos:

- Pavimento de concreto poroso;
- Pavimento de asfalto poroso;
- Pavimento de blocos de concreto vazados preenchidos com material granular (areia, grama).

Este tipo de pavimento busca reduzir o volume escoado diminuindo a solicitação do sistema de drenagem urbana e a possibilidade de enchentes, além de contribuir para melhoria da qualidade da água durante o processo de infiltração. A apresenta alguns exemplos de pavimentos permeáveis.

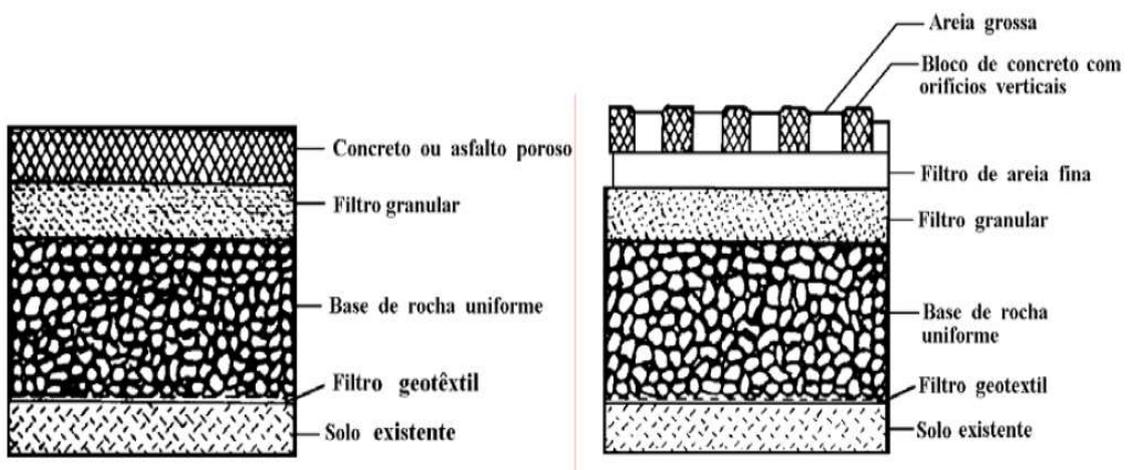


Figura 8: Corte típico com descrição das camadas dos pavimentos permeáveis.
Fonte: JÚNIOR (2008).

Outra técnica compensatória importante são os telhados verdes, que podem ser adotados em praticamente todas as abordagens existentes para a concepção de projetos sustentáveis, vindo a resolver não só questões no âmbito de drenagem pluvial, mas como também na construção civil (NETO, 2016). Ainda, segundo o autor, o telhado verde é normalmente considerado uma técnica de infiltração, mas também pode funcionar como uma técnica de armazenamento, além de permitir a retenção da água por interceptação vegetal. No próximo tópico, essa técnica será discutida mais detalhadamente, e será apresentado suas origens, tipos, vantagens e desvantagens.

3.3 Telhado verde

O Telhado verde é uma técnica construtiva que consiste na aplicação e uso de uma cobertura vegetal feita com grama ou planta e que é instalado em diversos tipos de edificações (SANTOS et al., 2017). Para Silva (2011), devido a crescente urbanização, as áreas verdes vão se tornando cada vez mais escassas e uma solução para aumentar as áreas verdes é utilizar os telhados para plantar gramas, flores etc.

Historicamente, os primeiros registros de coberturas verdes remontam a época da Babilônia, atual Iraque, no século VI a.C, e eram reconhecidos como Jardins Suspensos da Babilônia, sendo considerados uma das Sete Maravilhas do Mundo Antigo (JÚNIOR, 2008) (Figura 9).



Figura 9: Imaginário dos Jardins Suspensos da Babilônia, construído no século VI a.C.
Fonte: Júnior (2008).

Nos anos 70, começaram a ser desenvolvidos na Alemanha estudos abrangendo o telhado verde e suas aplicações, através da parceria de organizações privadas, universidades e centros de pesquisa que tinham como objetivo contribuir para o entendimento dessa técnica como uma opção para o desenvolvimento sustentável em áreas urbanas. A partir dos anos 70, estudos sobre telhado verde passaram a ser publicados com maior frequência, principalmente na Alemanha, uma das principais fontes de bibliografia sobre o assunto (WILLES, 2014).

Segundo Castro (2011), a tecnologia do telhado verde está sendo usada em diversos países da Europa, Estados Unidos e Austrália, onde é aplicado tanto em coberturas residências como comerciais e industriais. Na Alemanha, país que utiliza os telhados verdes em grande escala, a legislação ambiental e os códigos de obras de vários estados e municípios incluem aspectos a este tipo de estrutura.

No Brasil, o interesse por essa técnica ainda é relativamente pequeno, talvez por questões culturais, sendo mais conhecida nas regiões Sul e Sudeste do país, mas o governo começa a investir em projetos de lei que incentivam a utilização e a difusão dessa alternativa.

Quanto as principais vantagens dos telhados verdes em relação as coberturas convencionais, Castro (2011) cita:

- diminuição da água de escoamento que seria direcionada ao pluvial;
- melhoria da qualidade da água, já que ocorre a fitoremediação através das plantas;
- melhorias nas condições de conforto ambiental das edificações e visual paisagístico;
- proteção do telhado contra a luz solar e grandes flutuações de temperatura, aumentando assim a vida útil do telhado.

Os impactos dos telhados verdes sobre o escoamento superficial resumem-se em:

- redução no volume de água escoado, já que o telhado verde é composto por plantas que têm a capacidade de reter água;
- atraso no pico do escoamento, pois ocorre absorção da água no telhado verde;
- distribuição do escoamento superficial ao longo do tempo através da diminuição da velocidade de liberação do excesso de água retido nos poros do substrato.

Para Peck *et al.* (1999), o telhado verde assim como o jardim vertical (aplicados em muros ou paredes), reduzem os gases de efeito estufa e o escoamento de água pluvial e, também, melhoram o microclima local. Castro (2011), acrescenta que os telhados verdes podem ser utilizados de forma efetiva na redução do escoamento de águas pluviais em edifícios residenciais, comerciais e industriais. Este tipo de estrutura, por ser composto por plantas, é capaz de absorver, armazenar e evapotranspirar grande parte da precipitação, reduzindo consideravelmente a quantidade de escoamento que seria direcionado ao sistema de drenagem urbano.

Os telhados verdes também se destacam pelo conforto térmico que podem oferecer, sendo este um dos benefícios que é mais valorizado ou pesquisado diante dos efeitos da urbanização. De acordo com Lopes (2006), o uso dos telhados verdes, associado com outras medidas como abertura de avenidas e mudanças na superfície de

pavimentos, contribui para melhorar a eficiência energética, reduzir a poluição, a sobrecarga dos sistemas de drenagem, causadas por tempestades, assim como minimizar o efeito do fenômeno da ilha de calor. Uma parcela da energia do ambiente é consumida pela água acumulado nos substratos por meio do fenômeno de evapotranspiração. Hui e Chan (2008), analisaram o comportamento de temperatura, por meio de fotos com câmera de infravermelho, de dois sistemas de coberturas verdes modulares e uma laje de cobertura convencional (Figura 9). Os resultados demonstraram diferenças de até 13°C entre a superfície das coberturas verdes e superfície da cobertura convencional.



Figura 10: Foto em infravermelho, a cor azul representa a cobertura verde (menor temperatura), enquanto a cor vermelha representa a laje (maior temperatura).

Fonte: Hui e Chan (2008).

Para Castro (2011), existem algumas limitações que devem ser consideradas no momento da implantação da cobertura verde. Alguns climas exigem telhados verdes compostos por espécies de plantas tolerantes à falta de irrigação, do contrário, será necessário a utilização de um sistema de irrigação para não prejudicar a vegetação. Outro fator limitante em relação ao aspecto construtivo dos telhados verdes é a inclinação, que poderá variar de 0 a 40°. Além disso, os telhados verdes aumentam a carga na estrutura podendo inviabilizar o seu uso em construções já existentes.

Segundo Minke (2004), os telhados verdes podem ser classificados de acordo com suas inclinações. A Tabela 2 apresenta, de uma maneira resumida, a classificação por faixa de inclinação feita por Minke (2004) e suas principais características.

Tabela 2: Classificação dos telhados verdes de acordo com a sua inclinação.

CLASSIFICAÇÃO	CARACTERÍSTICAS	
	Inclinação	Aspectos construtivos
Plano	até 5% (3°)	Execução mais demorada do que os telhados verdes que apresentam inclinações moderadas, pois necessita de uma camada de drenagem especial para conduzir tanto o excedente, quanto a água que foi acumulada no telhado.
Inclinação moderada	de 5% (3°) até 36% (20°)	Nesta faixa de inclinação, é possível uma fácil e econômica implantação de telhado verde. Não necessita de camada de drenagem, o substrato tanto armazena água como conduz o excedente, para isso, deve-se agregar material poroso, como pedra pomes, escória ou argila expandida. Geralmente, não é necessário a implantação de uma estrutura que evite o deslizamento do substrato.
Inclinação acentuada	de 36% (20°) até 84% (40°)	Assemelham-se com o de inclinação moderada, porém é necessária a implantação de estruturas que evitem o deslizamento do substrato, dimensionada em função da declividade e da altura do substrato.
Íngreme	a partir de 84% (40°)	Os projetos de telhados verdes íngremes devem possuir metodologia específica de projeto para implantação, não são funcionais os meios convencionais de estruturas que evitam o deslizamento do substrato.

Fonte: Neto (2016), baseado em Minke (2004).

A IGRA (*International Green Roof Association*), classifica os telhados verdes em três tipos: sistema intensivo, sistema semi-intensivo e sistema extensivo (. Os critérios que os caracterizam, segundo a IGRA, apresentam-se na Tabela 3.

Tabela 3: Critérios de classificação dos telhados verdes.

	TELHADO VERDE EXTENSIVO	TELHADO VERDE SEMI-INTENSIVO	TELHADO VERDE INTENSIVO
MANUTENÇÃO	Baixa	Média	Alta
IRRIGAÇÃO	Não precisa	Periodicamente	Regularmente

	TELHADO VERDE EXTENSIVO	TELHADO VERDE SEMI-INTENSIVO	TELHADO VERDE INTENSIVO
TIPOS DE PLANTAS	Musgo, herbáceas e gramíneas	Gramíneas- herbáceas e arbustos	Gramado permanente, Árvores e arbustos
ALTURA DO SISTEMA CONSTRUTIVO	60 – 200 mm	120 – 250 mm	150 – 400 mm
PESO	60 – 150 kg/m ²	120 – 200 kg/m ²	180 – 500 kg/m ²
CUSTOS	Baixo	Médio	Alto
USO	Proteção Ecológica	Telhado Verde com <i>design</i>	Jardim tipo parque

Fonte: IGRA (International Green Roof Association).

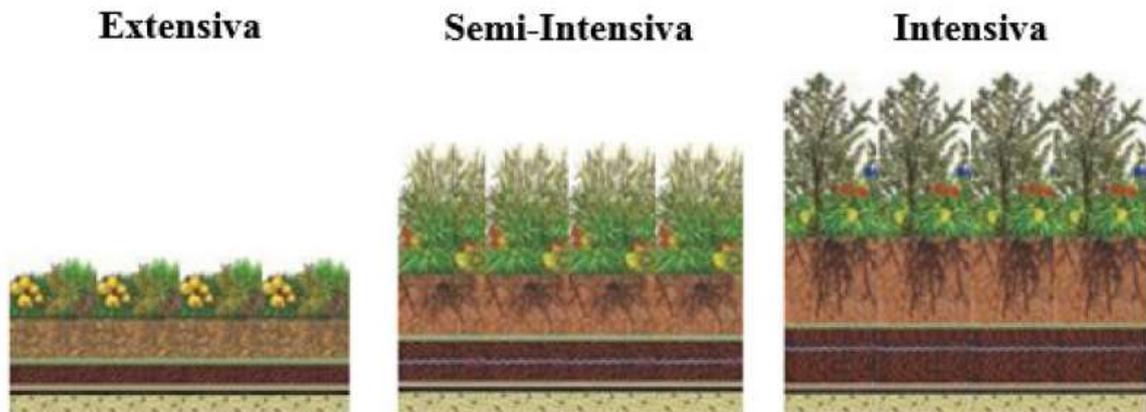


Figura 11: Ilustração das camadas dos diferentes tipos de telhados verdes.
Fonte: GREEN ROOF TECHNOLOGY (2016).

O tipo de cobertura verde a ser instalado na estrutura poderá ser intensivo, semi-intensivo e extensivo. De acordo com Catuzzo (2013), este tipo de classificação deve ser levado em consideração na escolha do tipo de cobertura verde a ser implementado na estrutura, bem como, a estrutura construída e sua capacidade de suporte de sobrecarga. O autor também destaca que o custo e a manutenção são itens de grande relevância na hora da escolha. Para Castro (2011), os fatores que influenciam na escolha do tipo de cobertura verde são: clima, tipos de plantas escolhidas, espessura da camada de solo e viabilidade na construção.

Teixeira (2013) ainda classifica as coberturas verdes quanto a constituição do seu sistema em dois tipos principais: contínuo e modular. O sistema contínuo é constituído pelo substrato aplicado diretamente na estrutura de suporte. Já o sistema modular possui o substrato e a camada vegetal aplicados em módulos, normalmente plásticos, que são implantados sobre a estrutura de suporte. Em ambos os sistemas utilizando impermeabilização e drenagem adequadas. Johnston e Newton (2004), por meio da Tabela 4, apresentam uma comparação das vantagens e desvantagens dos tipos de Telhado Verde.

Tabela 4: Comparação entre tipos de Telhado Verde.

TELHADO JARDIM INTENSIVO – TRADICIONAL Solo profundo, sistema de irrigação, condições mais favoráveis para as plantas.	TELHADO VERDE EXTENSIVO – ECOLÓGICO Solo raso, pouca ou nenhuma irrigação, condições estressantes para as plantas.
Vantagens	Vantagens
<ul style="list-style-type: none"> - permite maior diversidade; - boas propriedades de isolamento; - pode simular um jardim que fica acima do chão; - pode ser visualmente atrativo; - utilização diversificado do telhado, por exemplo, cultivo de alimento, e como um espaço aberto. 	<ul style="list-style-type: none"> - baixo peso – geralmente o telhado não precisa de reforço; - indicado para grandes áreas e para telhados com inclinação de 0° - 30°; - baixa manutenção; - às vezes não precisa de sistemas de irrigação/drenagem e é relativamente barato; - é necessário baixo conhecimento técnico; - indicado para projetos já existentes; - pode deixar a vegetação desenvolver espontaneamente; - visualmente mais natural; - fácil para autoridade em planejamento demandar o telhado verde como uma condição para permitir a execução.
Desvantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> - maior peso sobre o telhado e alto custo; - precisa de sistemas de irrigação e drenagem (maior necessidade de energia, água, materiais e etc.); - sistemas mais complexos e requer conhecimento técnico. 	<ul style="list-style-type: none"> - maior limite para escolha das plantas; - usualmente não é usado para recreação etc.; - pouco atrativo, especialmente no inverno.

Fonte: Johnston e Newton (2004).

Como podemos analisar na Tabela 4, os telhados extensivos têm uma grande vantagem em relação aos intensivos, do ponto de vista construtivo, pois apresentam vantagens em custo, manutenção e peso, além de ser possível a sua instalação em estruturas já construídas sem a implementação de reforços na estrutura (CASTRO, 2011). Por outro lado, possuem escolha limitada das espécies a serem plantadas e pequeno acesso para opções de recreação. Os telhados intensivos se destacam pela maior variabilidade de plantas que podem utilizar e pela maior capacidade de retenção de água devido a espessura do substrato. No entanto, exigem manutenção, maior custo inicial e a especificação técnica em relação ao sistema de irrigação e drenagem.

Construtivamente, o perfil de um telhado verde envolve uma série de camadas funcionais, que variam conforme a tecnologia adotada (Figura 12). A descrição de cada uma das camadas do sistema completo pode ser descrita a seguir, conforme Rola (2008):

- 1. Camada de Suporte da Carga do Telhado Verde:** a camada de suporte é aquela que deve suportar toda carga do sistema adotado, que é máxima quando o sistema se encontra saturado. Esta camada é toda e qualquer estrutura construída (lajes, telhados etc.) capaz de suportar o peso adicional do sistema saturado.
- 2. Camada de Impermeabilização:** tem por função proteger a camada de suporte contra a umidade proveniente do meio externo, assegurando sua estanqueidade. Esta camada é de extrema importância e exige um conhecimento mais profundo para escolha do tipo de impermeabilizante utilizar. Podem ser utilizados PVC ou manta asfáltica.
- 3. Camada de Drenagem:** tem por função o recolhimento das precipitações e regas excedentes em toda a superfície, conduzindo-as aos deságuas, sendo constituída preferencialmente de material poroso.
- 4. Camada Separadora Filtrante e de Proteção:** o GEOTÊXTIL tem a função de filtrar as partículas mais finas do substrato, evitando assim, o entupimento da camada de drenagem. O material utilizado nesta camada, o GEOTÊXTIL, é um composto de fibra sintética parecido com um feltro, e que deve atender aos

seguintes critérios: ter resistência à ruptura e à compressão, ser imputrescível, ter estrutura duradoura, estável e permeabilidade hídrica dez vezes superior ao do substrato, não reagir quimicamente com os materiais em contato, permitir o crescimento das raízes e ter resistência aos microrganismos.

5. **Camada de substrato:** é uma mistura de elementos orgânicos e inorgânicos capaz de manter o nível de nutrientes, umidade e oxigenação durante um certo período de tempo. Possui diferentes propriedades de acordo a vegetação e sistema adotado.
6. **Camada de Vegetação:** é a vegetação a ser utilizada. Para seleção do mesmo, deve ser levado em consideração a espessura do substrato, o microclima e o regime de chuva da localização em que será aplicada.



Figura 12: Camadas de um Telhado Verde.
Fonte: GREEN ROOF (2008).

Todos os componentes relatados são de grande importância para construção dos diferentes tipos de telhado verde, sendo fundamental a utilização de todos os materiais e camadas para evitar problemas na estrutura do telhado, e com isso proporcionar uma melhor qualidade ambiental para os centros urbanos, além de reduzir a temperatura no microclima urbano (CATUZZO, 2013).

É de extrema importância considerar os aspectos relacionados à drenagem dos telhados verdes. Pois os telhados verdes são estruturas com grande potencial de redução do escoamento superficial, e que contribuem para diminuir os impactos do despejo dos

escoamentos pluviais no sistema de drenagem urbano. Essas estruturas podem retardar o escoamento devido ao aumento da infiltração e do acréscimo da evapotranspiração (JÚNIOR, 2008). É possível verificar através da Figura 13 diferença de balanço hídrico entre um telhado verde e um telhado de cobertura convencional.

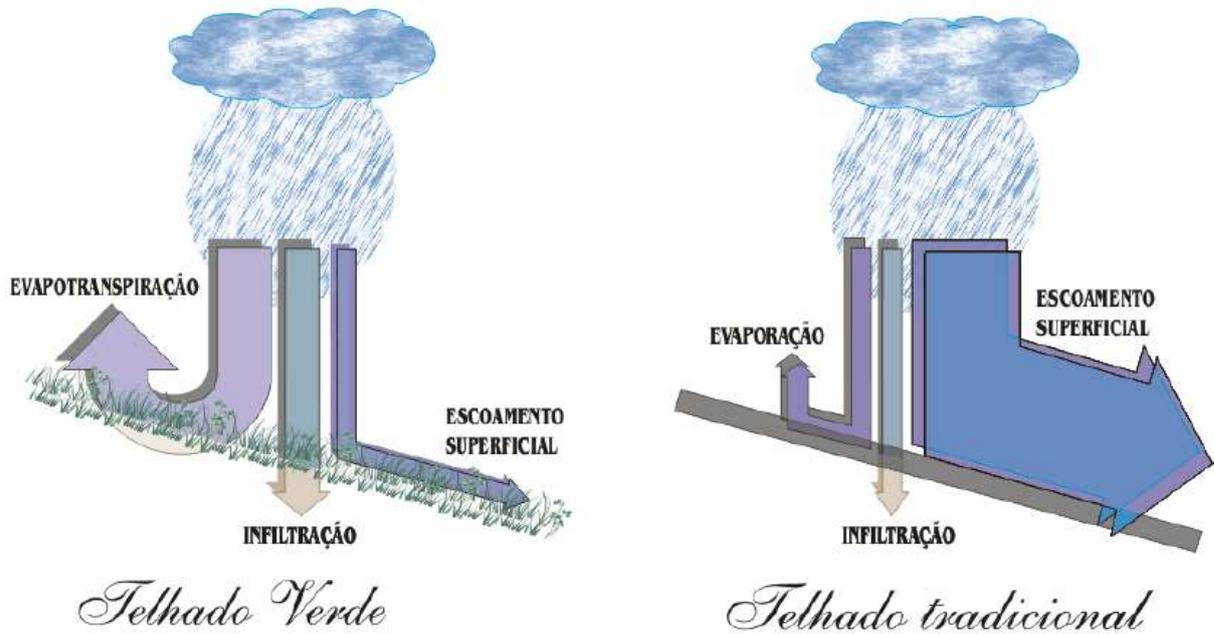


Figura 13: Balanço Hídrico de um telhado verde comparado a um tradicional.
Fonte: Júnior (2008)

De acordo com Almeida Neto *et al.* (2005), em um estudo sobre os impactos causados pelas coberturas tradicionais, asseguram que os telhados verdes em áreas urbanas além de oferecerem melhores condições térmicas na edificação, também oferecem uma maior capacidade de absorção da água pluvial.

Mentens *et al.* (2006) analisaram 18 publicações na literatura alemã sobre o efeito dos telhados verdes no controle do escoamento superficial. Os autores encontraram valores de capacidade anual de retenção do escoamento superficial que pode variar de 75% a 45% para telhados verdes intensivos e extensivos, respectivamente, a taxa de precipitação varia de 554mm a 1347mm anuais. A capacidade de retenção está relacionada com a estrutura do telhado verde (número de camadas e espessura do

substrato), condições climáticas e a quantidade de precipitação. Com base na análise dos dados levantados na literatura, ficou evidente que a capacidade de retenção dos telhados verdes é significativamente menor no inverno do que no verão. Segundo os autores, essa diferença de comportamento se deve a diferenças nas taxas de evapotranspiração e precipitação. Os autores simularam um cenário para a região de Bruxelas, analisando os dados de precipitação em escala anual, onde 10% das coberturas das edificações existentes fossem telhados verdes extensivos, observou-se que, a redução do escoamento superficial foi de 2,7% para a região e de 54% para as edificações individuais. Os autores ainda destacam que, devido a sua capacidade de armazenamento de água, os telhados verdes podem ser muito úteis na redução do escoamento resultante dos eventos de precipitação.

Cunha (2004), realizou um estudo sobre Coberturas Verdes Leves, na cidade de São Carlos-SP, e conclui que a capacidade de absorção de água pluvial de um telhado verde, considerando o substrato insaturado, foi de cerca de 14 mm a mais do que uma cobertura com telhado convencional, e também foi observado que o telhado verde é capaz de absorver a água pluvial mesmo no momento de maior intensidade de chuva. Este resultado demonstrou a eficiência dos telhados verdes ao combate e prevenção das enchentes, se comparado com uma cobertura com telhas convencionais.

No entanto, Cantor (2008) ressalta que para se conseguir um efeito significativo na bacia de um sistema de drenagem de águas pluviais, é necessário a utilização dos telhados verdes em grande escala.

Kolb (2003), ao analisar as condições do escoamento em telhados verdes, observou que, para picos de vazão, onde ocorre a maior intensidade de precipitação, a relação do amortecimento do volume escoado entre uma cobertura com vegetação e outra sem vegetação foi cerca de 75%. Sendo estes resultados fortemente influenciados pela espessura do substrato e escolha das espécies plantadas, conforme apresenta a Figura 14.

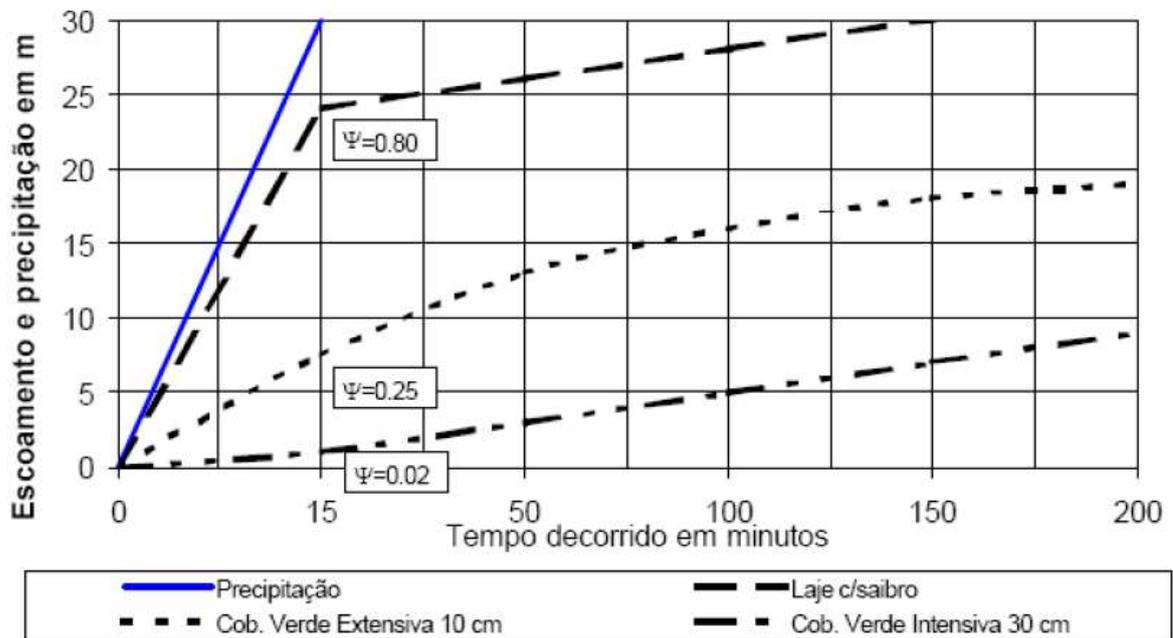


Figura 14: Condições de escoamento - cobertura com vegetação e sem vegetação.
Fonte: Kolb (2003).

Outro aspecto que influencia na retenção de água em telhados verdes é a sua declividade. VanWoert *et al.* (2005) realizaram dois estudos com diferentes tipos de telhados para analisar os efeitos no controle do escoamento superficial. O primeiro estudo comparou os efeitos de telhados verdes extensivos, telhados de reservatório de brita e telhados sem vegetação. O segundo estudo avaliou a influência da declividade e profundidade da camada do substrato na capacidade de retenção de água. Foram estudadas declividades de 2 a 6% e profundidade do substrato de 2,4 e 6cm. Verificou-se que houve retenções do escoamento superficial da ordem de 48% para reservatório de brita e da ordem de 82,2% para telhados com vegetação. Os autores concluíram que para todos os eventos de chuva, a maior retenção ocorreu na declividade de 2% (a menor estudada) com uma profundidade média de 4cm.

Ainda dentro do contexto da influência da declividade, Morruzi *et al.* (2014) estudaram o efeito da inclinação e umidade inicial do substrato na parcela de água pluvial escoada, armazenada e percolada em telhados verdes extensivos. Os resultados obtidos

indicam que quanto menor a inclinação do telhado, maior é a lâmina de água armazenada.

De forma resumida, o Quadro 1 apresenta as principais vantagens social, econômica e ambiental dos telhados verdes.

Quadro 1: Vantagens dos Telhados Verdes.

TIPO DE VANTAGEM	VANTAGEM
SOCIAL	O contato com o que se tem de essencial e primitivo – a vida vegetal, o mineral, a água, e animais – responsáveis pelo conforto psicológico
	Promoção da diversidade visual no ambiente urbana, uma vez que as coberturas verdes vivas se contrapõem à massa acinzentada construída da cidade
	Medida compensatória que pode evitar que ocorram cheias urbanas, e também a mobilização da população local
	Criação de referenciais urbanos para promover a orientação dos habitantes da cidade
	Promoção do bem-estar por ser paisagisticamente agradável de serem contemplados
ECONÔMICA	Economia de energia utilizada no aquecimento e resfriamento do ambiente interno, já que a amplitude térmica da cobertura com terra e vegetação é muito menor do que uma cobertura convencional
	Proteção da impermeabilização contra a radiação ultravioleta e os diferenciais extremos de temperatura, promovendo a eficiência energética e prolongando a vida útil
	Redução dos prejuízos gerados em eventos de cheias urbanas, visto que as coberturas verdes podem atuar na redução da magnitude e ocorrência desses eventos
	Aumento do valor da propriedade
	Produção de alimentos em pequena escala
	Redução do dimensionamento das galerias pluviais devido à retenção da água precipitada promovida pelo telhado verde
AMBIENTAL	Atuação positiva no clima da cidade e da região proporcionada pela retenção de poeira e substâncias contaminantes suspensas no ar
	Melhora termodinâmica urbana: entrada de ar fresco e saída de cargas de emissão
	Aumento da área verde útil
	Absorção do ruído
	Redução do efeito da ilha de calor
	Total integração do edifício com o entorno
	Retenção da água de chuva pelo telhado verde
	Podem contribuir para que não ocorram cheias urbanas
	Retenção do material particulado da poluição atmosférica urbana
Criação de um ambiente propício para o desenvolvimento de plantas e animais, promovendo um ambiente com maior biodiversidade	

Fonte: Neto (2016).

As desvantagens de cada tipo de telhado verde, são mostradas no Quadro 2.

Quadro 2: Desvantagens dos Telhados Verdes.

SISTEMA INTENSIVO	SISTEMA SEMI-INTENSIVO	SISTEMA EXTENSIVO
Alta carga sobre a estrutura	Média sobrecarga na estrutura	Não são projetados para uso intenso de público
Requer reforço estrutural, o que encarece a obra		Os materiais leves que compõem o sistema, quando não fabricados no país, tem na maioria seus custos elevados
Requer manutenção intensa, aumentando consideravelmente os custos		
Requer irrigação intensa ao longo de todo seu ciclo de vida		
Necessidade de fertilização intensa o que compromete a água residual que carrega excessos de NPK, considerado poluente das águas pluviais		
Os sistemas de natureza tradicionais usados mais intensamente na década de 60 (mas ainda em uso, apesar de raramente) eram aplicados apenas em novas construções, as quais possuíam projeto de reforço estrutural, o que excluía a parte já consolidada da cidade		O plantio deve ser feito em período de clima ameno
Biodiversidade indesejada. Dependendo do tipo de vegetação adotada, o telhado se torna um "lar" para a proliferação de insetos indesejáveis		
Necessidade de estudo <i>a priori</i> dos aspectos bioclimáticos locais para a adequada seleção do sistema mais apropriado a ser aplicado, bem como a precisa triagem dos seus materiais constituintes e plantas autóctones. Este tempo para estudo prévio pode elevar os custos iniciais, mas se faz premente, pois aumenta as chances de longevidade da natureza. Por se tratar de um sistema vivo, quanto mais grande for a natureza instalada, maior é a garantia de durabilidade de sua estrutura de suporte		
Adaptação de telhados já existentes, que não são formados por lajes, para receber o sistema		
Alto custo inicial, que pode ser recuperado em até 3 anos		

Fonte: Neto (2016).

3.4 Captação e Aproveitamento da Água da Chuva

A água é um recurso estratégico e indispensável para a vida humana. No entanto, devido as alterações causadas no ciclo hidrológico, esse recurso tem se tornado cada vez mais escasso em quantidade e qualidade adequada para os mais diversos ecossistemas.

Segundo Rola (2008), o efeito paradoxal das ações humanas tem resultado na sistemática deterioração dos recursos hídricos, pois apesar de necessitarem deste recurso para sua sobrevivência e desenvolvimento econômico, poluem suas fontes e comprometem o seu ciclo hidrológico através do despejamento de resíduos líquidos e sólidos nos rios, lagos e represas, causando alteração no uso do solo em áreas alagadas e destruindo florestas e mata ciliares.

Com o crescimento populacional, a partir do século XX, os problemas relacionados ao uso predatório dos recursos hídricos do nosso planeta se intensificou (FERREIRA, 2014). Esse aumento tem gerado demanda cada vez maior por água em qualidade e quantidade, sobrecarregando os mananciais e comprometendo a capacidade de atendimento por parte do sistema de abastecimento público, impactando diretamente as condições de vida da população, como saúde e produção de alimentos (MEDEIROS, 2012).

Segundo estimativas da Unesco, com o ritmo atual de crescimento da população e sem a aplicação de práticas de consumo sustentável da água, em 2025 o consumo humano pode chegar a 90%, restando apenas 10% para os outros seres vivos do planeta (BRASIL, 2005). Com isso, a captação e aproveitamento da água da chuva se torna uma alternativa para o meio urbano, que pode contribuir para solucionar tanto a falta de água nos grandes centros urbanos, quanto de minorar os eventos de enchentes e seus efeitos nocivos (ROLA, 2008).

A captação e aproveitamento da água da chuva no meio urbano como fonte alternativa é uma solução simples e eficaz tanto para preservar os mananciais de captação de água, quanto para aliviar o sistema de drenagem urbano. Segundo May (2008), a prática de uso da água da chuva nas edificações é antiga, no entanto, foi perdendo sua importância com a implantação dos sistemas públicos de abastecimento.

No Brasil, o uso da água da chuva é regulamentado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas por meio da norma ABNT NBR 15527/2007 (ABNT, 2007), que fornece

os requisitos para o aproveitamento das águas de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis.

A água da chuva que cai sobre uma superfície de cobertura pode ser captada e conduzida até uma cisterna através de um sistema de calhas e condutores (Figura 15). Essa água armazenada pode ser utilizada para várias atividades com fins não potáveis sem a necessidade de um tratamento mais complexo, como, por exemplo, descarga de bacias sanitárias, irrigação de gramados, lavagem de veículos, limpeza de calçadas e ruas, limpeza de pátios e espelhos d'água (TOMAZ, 2003). Isso possibilita reduzir o consumo de água gerando vantagens econômicas, além de outros benefícios como: melhor aproveitamento de um recurso natural escasso, e disponível em abundância nas coberturas; armazenar a água e reduzir o risco de enchentes; encorajar a conservação de água, a autossuficiência e uma postura ativa perante os problemas ambientais da cidade (OLIVEIRA *et al.*, 2014).

Segundo May (2004), o volume de águas pluviais que pode ser armazenada depende da área de captação, do regime de chuva local, do coeficiente de escoamento superficial e o fator de captação. A utilização de telhados para captação da água da chuva é mais comum por ser uma área que não sofre a influência direta de tráfego de pessoas e veículos, além de possibilitar em grande parte dos casos que a água atinja o reservatório de armazenamento por ação da gravidade dispensando o uso de um sistema de bombeamento, o que facilita o projeto (OLIVEIRA *et al.*, 2014).



Figura 15: Sistema de aproveitamento de água da chuva por telhados.
Fonte: Waterfall (2002).

Para coberturas tradicionais, como por exemplo, lajes e telhados, é recomendável o descarte do escoamento inicial (*first flush*) que faz a limpeza das coberturas, pois este pode conter fezes de pequenos animais, folhas, galhos, poeira e até mesmo animais mortos (MAY, 2004). Já em sistemas associados a telhados verdes esse descarte não é necessário, devido ao sistema filtrante natural dessas coberturas.

Portanto, o tipo de cobertura utilizado para coleta da água da chuva tem influência no volume de água precipitada que será aproveitada. Em telhados verdes, parte da precipitação fica retida na própria cobertura, pois é utilizada para manutenção do substrato e da vegetação. Porém, em telhados convencionais, além dos descartes dos primeiros milímetros da precipitação, podem ocorrer perda de um grande volume de água por meio de extravasores dos reservatórios de armazenamento, volume que se transforma em escoamento superficial. Assim, verifica-se que o volume de precipitação perdido em sistemas de coberturas verdes não é tão prejudicial quanto ao volume que é descartado em sistemas de coberturas convencionais.

A utilização de telhados verdes tem chamado atenção da comunidade técnica devido a sua capacidade múltipla em contribuir na mitigação dos danos causados pelas

enchentes no meio urbano, em prover uma fonte de água alternativa, elevar a biodiversidade urbana e associada à economia de energia por melhoria de desempenho térmico nos ambientes interno e externo (IBIAPINA *et al.*, 2010). Dessa maneira, os telhados verdes se mostram como uma alternativa de ampliação nas crescentemente densas e impermeabilizadas cidades (ROLA, 2008).

Segundo Willes (2014), a água excedente que não é aproveitada pelo telhado verde apresenta redução de agentes poluidores devido a ação da vegetação, substrato e demais camadas que funcionam como filtros. O autor ainda acrescenta que, o excedente pode ser armazenado em cisternas e utilizado para fins não potáveis, reduzindo bastante o consumo de água potável.

Para Edwards (2008), existe uma necessidade de se construir edificações capazes de melhorar a eficiência no consumo de recursos, que contribuam tanto para a satisfação de seus usuários quanto para o desempenho econômico. A adoção de soluções sustentáveis e integradas, como a tecnologia de coberturas verdes com sistema de captação de águas pluviais, pode ser uma alternativa para essa necessidade, pois apresenta benefícios tanto ao usuário, como para a região que está inserida.

3.4 Energia Solar Fotovoltaica

A produção e o consumo de energia são ambientalmente impactantes, mas os padrões atuais de consumo podem ser melhorados por meio do estímulo do uso mais eficiente de energia e a substituição de fontes de energia fósseis para fontes renováveis (GOLDEMBERG; LUCON, 2007). Os investimentos em fontes de energia limpa e renovável aumentam a cada ano. Em 2015, por exemplo, o investimento global no setor atingiu o valor recorde de US\$ 286 bilhões, acarretando um acréscimo de cerca de 147 gigawatts à capacidade de geração de energia do planeta. Esses avanços também permitiram uma redução dos custos de geração de energia renovável (MCGRATH, 2016).

Tais avanços permitiram que fossem desenvolvidos geradores de pequeno porte que podem ser instalados em qualquer tipo de edificação. Desde 17 de abril de 2012,

quando foi criado pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) o Sistema de Compensação de Energia Elétrica, o consumidor brasileiro ganhou o direito de gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou mesmo utilizando combustíveis fósseis e inclusive fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade.

O aproveitamento da energia gerada pelo Sol é hoje uma das alternativas energéticas mais promissoras para fornecer a energia necessária ao desenvolvimento humano (PINHO; GALDINO, 2014). Portanto, considerando o grande potencial solar energético do Brasil, a energia gerada por sistemas fotovoltaicos se mostra uma alternativa viável e atraente, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental.

Segundo Pinho e Galdino (2014), a energia solar fotovoltaica é a energia obtida através da conversão direta da radiação solar em eletricidade por meio do efeito fotovoltaico, que ocasiona o aparecimento de uma diferença de potencial nos terminais de uma célula eletroquímica gerado pela absorção de luz.

Os autores ainda classificam os sistemas fotovoltaicos em duas categorias principais:

- *Sistemas autônomos ou híbridos*: também chamado de off-grid, não são conectados à rede de distribuição de energia elétrica das concessionárias e podem funcionar com ou sem uma unidade de armazenamento de energia elétrica;
- *Sistemas conectados à rede*: também chamado de on-grid ou grid-tie, e trabalham em conjunto com a rede de distribuição.

Segundo Pereira e Oliveira (2015), os sistemas conectados à rede elétrica são mais vantajosos do que os isolados, pois toda energia que é gerada por esses sistemas é injetada diretamente na rede, não sendo necessárias as baterias, o que torna o sistema mais simples e com menos manutenção.

Ainda conforme os autores acima, uma instalação solar conectada à rede é constituída por 5 equipamentos básicos:

- *Módulos fotovoltaicos*: são os responsáveis pela captação da radiação solar e da geração de energia elétrica;
- *Inversor*: este equipamento tem como função básica a conexão à rede elétrica, mas também transforma a corrente contínua em corrente alternada, e decide quando deve injetar na rede a energia produzida;
- *Medidor bidirecional*: é o equipamento responsável pela contagem da energia elétrica produzida pelo sistema fotovoltaico durante o seu período de funcionamento;
- *Portinhola*: caixa de ligações que permite a interligação dos cabos do consumidor e do produtor e que contém as respectivas proteções;
- *Elementos de proteção*: protegem a instalação e os equipamentos em caso de curto-circuitos, descargas atmosféricas ou sobrecargas.

Para o dimensionamento da potência de um sistema fotovoltaico, é importante que se leve em consideração o Sistema de Compensação de Energia Elétrica trazida pela resolução Normativa nº 482/2012. Neste sistema, quando o sistema fotovoltaico gerar energia superior a quantidade demandada pela unidade consumidora, o excedente é injetado na rede distribuidora, o qual funcionará como uma unidade de armazenamento, e registrado pelo medidor bidirecional.

Quando a unidade consumidora injeta na rede uma energia maior do que a consumida, a distribuidora devolve esse excedente em forma de um crédito em energia (kWh) a ser utilizado para descontar o consumo em outro posto tarifário (para consumidores com tarifa horária) ou na fatura dos meses subsequentes, em um prazo de até 60 meses. Esses créditos também poderão ser utilizados para compensar o consumo de outras unidades do mesmo proprietário, previamente cadastradas dentro da mesma área de concessão (ANEEL, 2016).

É importante ressaltar que, para consumidores conectados em baixa tensão (grupo B), ainda que gere energia excedente, será necessário o pagamento do custo de disponibilidade – valor em reais equivalente a 30kWh (monofásico), 50kWh (bifásico) ou 100kWh (trifásico). Da mesma maneira, para unidades consumidoras conectados em alta tensão (grupo A) será cobrado a parcela da fatura referente à demanda contratada (ANEEL, 2016).

Logo, para o dimensionamento do sistema fotovoltaico de forma otimizada, deve-se levar em conta o consumo médio mensal (kWh) descontado da taxa mínima de disponibilidade.

3.5 Integração entre o Sistema Fotovoltaico e o Telhado Verde

A integração desses sistemas é uma opção que pode contribuir para o desenvolvimento de construções mais sustentáveis e redução da emissão dos gases do efeito estufa. Os telhados verdes são estruturas que podem ser utilizados para economizar energia, reduzir o escoamento de águas pluviais e melhorar o desempenho térmico e ambiental das edificações. Enquanto os sistemas fotovoltaicos podem gerar energia renovável.

Telhados verdes e sistemas fotovoltaicos inicialmente podem parecer que competem pelo mesmo espaço (PECK; LINDE, 2010). Mas segundo Kohler *et al.* (2002), a integração entre os sistemas pode melhorar suas funções e eficácia pelos efeitos de resfriamento e sombreamento da superfície. As plantas resfriam o ambiente pelo processo de evapotranspiração aumentando a eficiência dos painéis solares, em contrapartida, os painéis protegem as plantas da exposição excessiva ao sol e da evaporação, melhorando o crescimento das plantas.

O calor é considerado o principal fator que afeta a eficiência de painéis fotovoltaicos instalados em uma cobertura. As altas temperaturas do telhado entorno dos painéis, causa um aumento da condutividade do cristal semicondutor, o que inibe a separação e diminui a voltagem das células solares. O calor excessivo pode reduzir a

produtividade dos painéis em até 25%, em uma taxa de -0,45% por grau Celsius (HUI; CHAN, 2011). Ainda de acordo com os autores, a combinação entre telhado verde e painéis fotovoltaicos pode gerar um aumento de 8,3% na geração de energia elétrica, em comparação a sistemas fotovoltaicos instalados em telhados convencionais.

Já estudos realizados por Kohler *et al.* (2007), mostraram resultados promissores para integração de telhado verde e sistema fotovoltaico, com geração de energia elétrica de até 10% maior do que no telhado convencional. Os autores ainda concluíram que, a implantação de telhado verde para aumentar a eficiência dos painéis solares apresenta custos inferiores quando comparado a sistemas de rastreamento da luz solar (tracking).

Assim, a integração entre os sistemas se mostra uma alternativa interessante. Pois o telhado verde além de aumentar a eficiência dos painéis solares, gerando mais energia, também reduz o consumo energético da edificação, uma vez que reduz a carga térmica no interior da edificação e, conseqüentemente, a demanda por sistema de refrigeração.

4. METODOLOGIA

A proposta técnica de implantação e análise da viabilidade econômica de um sistema de telhado verde integrado à tecnologia fotovoltaica com captação e reutilização de água da chuva em uma residência de telhado cerâmico foi realizada com base em uma casa hipotética, criada para este trabalho. Foi realizado o levantamento das áreas, quantitativos de materiais e mão de obra para a realização da orçamentação e análise.

Assim, foram utilizados gráficos, quadros e tabelas, para facilitar a compreensão dos resultados obtidos e chegar às conclusões finais sobre a análise da viabilidade econômica de implantação do projeto proposto.

4.1 Descrição da Casa Hipotética

A casa hipotética está localizada na cidade de Macaé, interior do estado do Rio de Janeiro e contará com a implantação de um telhado verde extensivo sobre a estrutura de um telhado cerâmico existente, junto com um sistema de painel solar e captação da água da chuva.

A casa é de um pavimento e composta por 7 cômodos (Figura 16), sendo três quartos, sala, cozinha, banheiro, área de serviço e com um telhado convencional cerâmico de duas águas. A escolha do telhado cerâmico foi baseada na dificuldade de encontrar na literatura a implantação de telhado verde nesse tipo de estrutura, sendo a grande maioria implantado sobre estrutura de laje de concreto. Além disso, tal escolha se deve ao fato de muitas das residências brasileiras, especialmente as mais antigas, serem construídas com telhados cerâmicos.

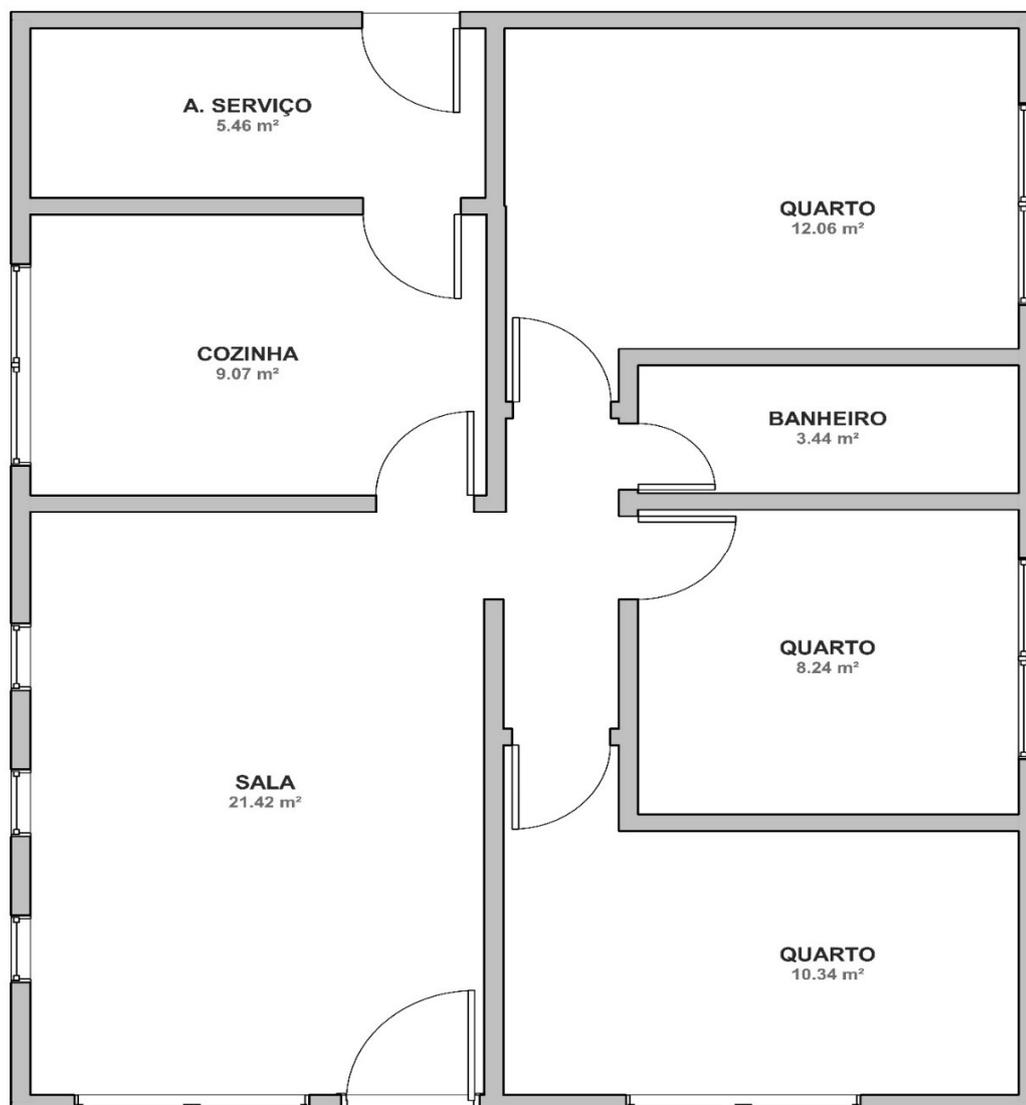


Figura 16: Planta da Casa.
Fonte: Autor (2019).

Para estimar o consumo de energia e de água foi considerada uma residência de acomodação unifamiliar, composta por 4 pessoas. Para a elaboração dos desenhos e das imagens do projeto foi utilizado o software Revit 2020 na versão estudante da Autodesk.

4.2 Instalação do Telhado Verde

4.2.1 Composição do Sistema

Para este estudo foi escolhido o Sistema Modular Alveolar Grelhado da empresa Ecotelhado, pois apresenta o menor peso saturado dentro os módulos pesquisados, além de ser a melhor opção para coberturas inclinadas, sendo seu uso permitido para telhados com inclinação de 20° ou 30%.

Este sistema se caracteriza pela presença, em sua composição, da membrana alveolar, responsável pela reserva de água para vegetação, e inclusão da grelha tridimensional de PEAD, que retém o substrato dentro de seus círculos, não permitindo que o mesmo escoe com a inclinação (ECOTELHADO, 2019).

A camada suporte deve suportar o peso de 80kg/m², pois o peso médio do sistema saturado varia de 50 a 60kg/m², sendo o sistema composto pelos seguintes elementos:

- *Módulo Plástico Alveolar*: módulo semi-flexível de material de plástico reciclado com dimensões 70 x 115 x 3,5 cm (A = 0,805 m²). E tem como finalidade a drenagem controlada, retenção de água para as raízes da vegetação (reserva de água sob as raízes), evita o contato direto da vegetação com a camada suporte.
- *Membrana de Absorção*: tem a finalidade de reter a água e nutrientes para suprir parcialmente as raízes da vegetação.
- *Grelha de Pavimento Natural*: tem o formato tridimensional e tem finalidade de suporte e retenção do substrato nutritivo, proporcionando alta capacidade de drenagem de água sem carrear o substrato nutritivo, proporcionando oxigenação das raízes, evita o amassamento das raízes por compactação e fixação das plantas.
- *Substrato leve ecotelhado®*: baixo peso específico e nutritivo, proporcionando baixa carga na base da cobertura e grande poder de retenção de água e nutrientes.

- *Gel (Forth Gel)*: o gel para plantio é um copolímero de poliacrilato de potássio. Seu objetivo é reter umidade.

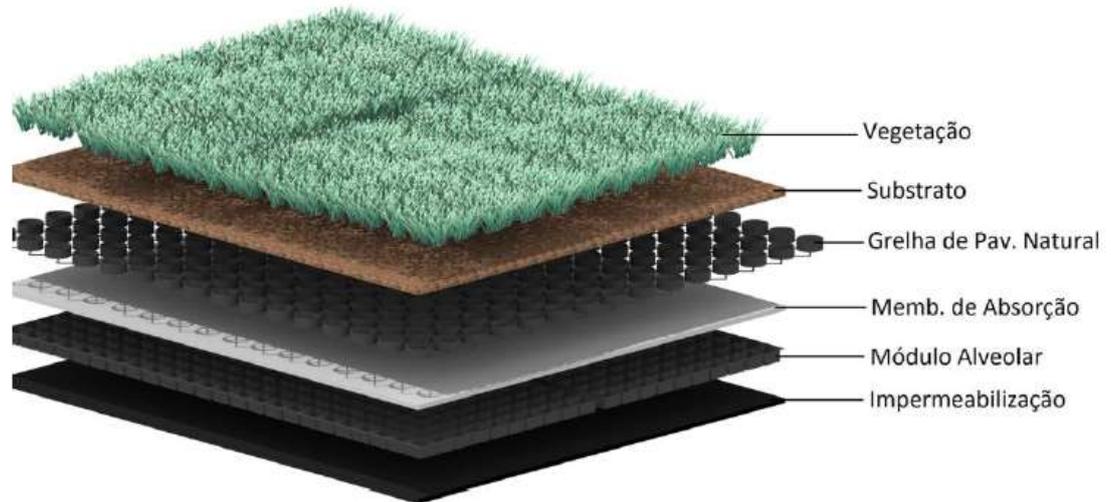


Figura 17: Esquemático Sistema Alveolar Grelhado.
Fonte: Ecotelhado (2019).

A vegetação proposta foi a grama amendoim (*Arachis repens*), pois segundo Willes (2014), esta espécie proporciona forração densa, com flores amarelas em boa parte do ano e é indicada para áreas sem pisoteio, além de dispensar podas regulares e superar períodos de secas, embora não seja resistente a geadas. Já Lorenzi e Souza (2001) destacam que essa espécie pode ser empregada satisfatoriamente em uma cobertura verde no Brasil. Ferraz (2012) ainda acrescenta que essa espécie é perene, possui geometria favorável ao desempenho térmico, permite a rápida drenagem e circulação de ar entre seus ramos, além do efeito decorativo notável.

4.2.2 Sistema construtivo do Telhado Verde

O primeiro passo para executar o telhado verde proposto é formar a base que receberá os módulos. Como neste trabalho a implantação do telhado verde é proposta em uma edificação de telhado cerâmico já existente (Figura 18), é necessário primeiro o

destelhamento da cobertura (Figura 19), pois assim é reduzido o peso da estrutura de suporte do telhado verde.



Figura 18: Edificação com telhado cerâmico.

Fonte: Autor (2019).

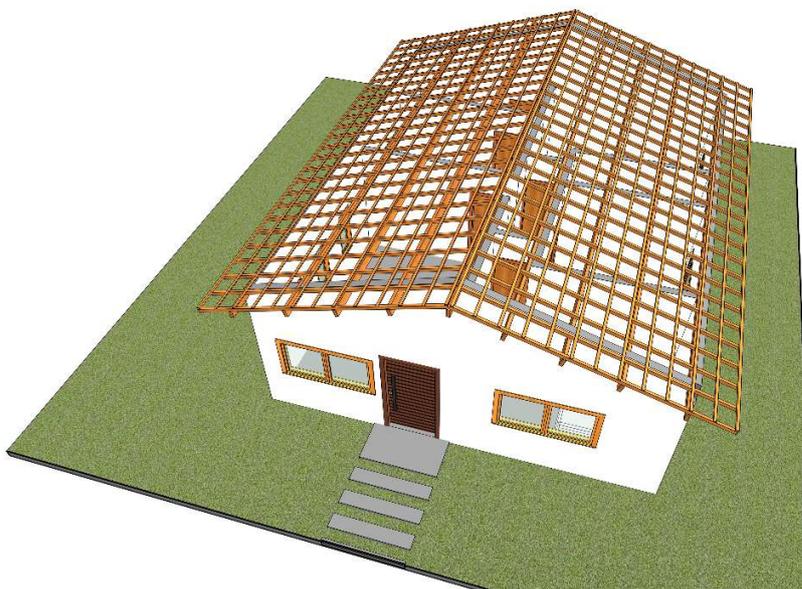


Figura 19: Edificação sem telhado.

Fonte: Autor (2019).

As telhas cerâmicas devem ser substituídas por chapas de compensado resinado (Figura 20), para nivelar a área e servir como base para os módulos. A chapa de madeira

compensada naval é recomendada na construção civil por receber imunização contra o ataque de fungos e cupins e por ser prensado sob altas temperaturas com resina fenólica naval, tornando-se altamente resistente à umidade e ao contato direto com água. Tem espessura de 18mm, dimensões de 122x 244cm e pesa aproximadamente 25kg por chapa de compensado.

As placas devem ser dispostas sobre a estrutura do telhado de forma que os encontros entre as placas fiquem sempre sobre as ripas para dar estabilidade ao sistema (SAVI, 2012). Sobre as placas, como impermeabilização, foi proposta uma geomembrana de PVC, pois este produto apresenta grande maleabilidade, ótima resistência mecânica, impermeabilidade segura garantida pela soldagem termofusão e alta resistência à punção. Além disso, oferece proteção anti-raízes muito superior se comparada com as tradicionais mantas asfálticas (ECOTELHADO, 2019).

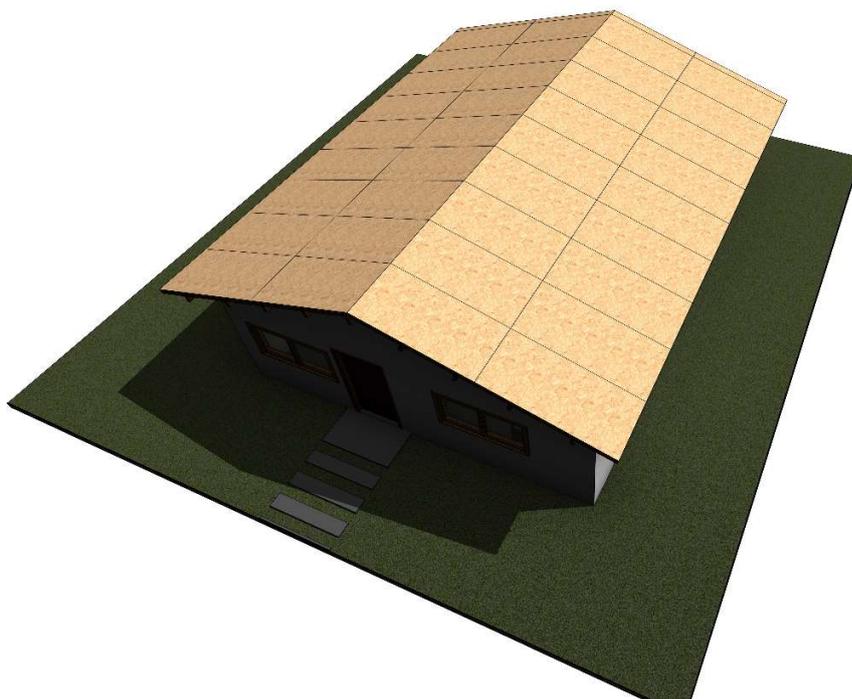


Figura 20: Base formada com placas de compensado.
Fonte: Autor (2019).

Para evitar o deslizamento dos módulos, é proposto realizar os fechamentos laterais utilizando placa cimentícia sem amianto, com 8mm de espessura e dimensões 200x120 cm (Figura 21). Segundo Savi (2012), a escolha por esse tipo de acabamento ao invés de perfis de madeira é mais vantajosa por apresentar maior durabilidade quando exposta ao tempo, possibilitando uma cobertura com o mínimo de manutenção possível.



Figura 21: Fechamento lateral com placa cimentícia.
Fonte: Autor (2019).

E, por último, coloca-se os módulos com substrato e vegetação preenchendo toda superfície do telhado. É importante ressaltar que, para que todas as peças se encaixem, tanto os módulos quanto as placas, algumas devem ser recortadas. Na Figura 22 é possível observar as camadas que servirão de suporte para a implantação do telhado verde, a partir de parte da estrutura do telhado cerâmico.

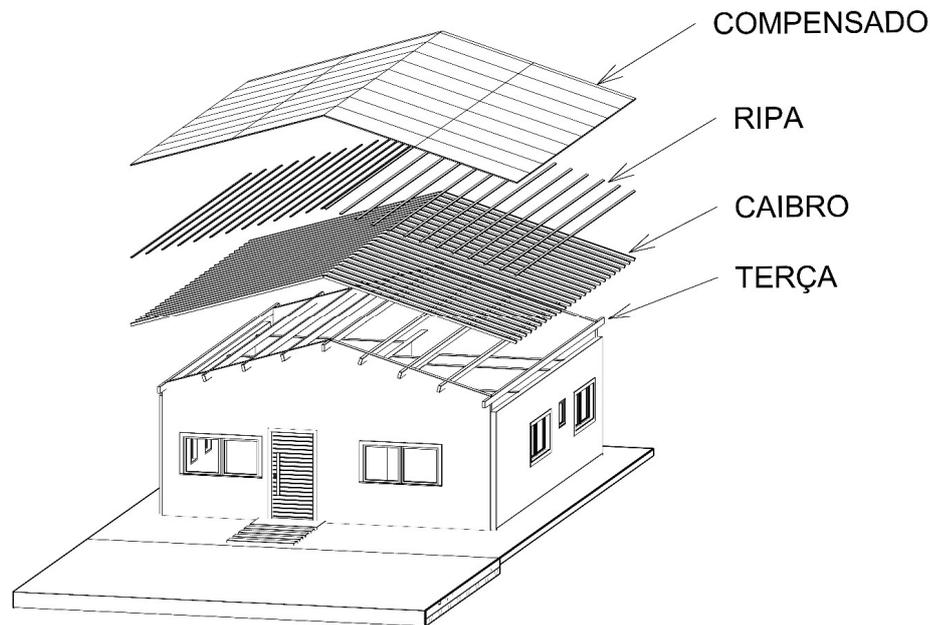


Figura 22: Exemplificação das camadas da estrutura de suporte.
Fonte: Autor (2019).

Após a instalação do telhado verde é necessário irrigar abundantemente o sistema já vegetado, com frequência diária por, no mínimo, 45 dias ou até que a vegetação se adapte ao seu novo habitat (ECOTELHADO, 2019).

4.3 Sistema de Captação de Água Pluvial

O primeiro passo para dimensionar o sistema de captação de água pluvial é determinar o coeficiente de *runoff*. Para telhados verdes, alguns estudos mostram que o coeficiente de *runoff* pode variar em função da inclinação da cobertura, da espessura da camada de solo e do tipo de vegetação. Os estudos realizados por FLL (2002) para determinação do coeficiente de *runoff* em telhados verdes com diferentes espessuras e inclinações apresentou os resultados conforme observado na Tabela 5.

Tabela 5: Coeficiente de *Runoff* para telhado verde.

Espessura e (cm)	Inclinação até 15°	Inclinação acima de 15°
$e \geq 50$	0,1	-
$25 \leq e < 50$	0,2	-

Espessura e (cm)	Inclinação até 15°	Inclinação acima de 15°
$15 \leq e < 25$	0,3	-
$10 \leq e < 15$	0,4	0,5
$6 \leq e < 10$	0,5	0,6
$4 \leq e < 6$	0,6	0,7
$2 \leq e < 4$	0,7	0,8

Fonte: FLL (2002).

Analisando a tabela e considerando que a espessura da camada do substrato proposto nesse estudo foi de 5 cm, compreendido entre $4 \leq e < 6$, e que possui inclinação superior 15°, o telhado verde proposto terá um coeficiente de *runoff* na faixa de 0,7. No entanto, como o sistema que será utilizado é modular, devemos levar em consideração a água que é armazenada no módulo, que tem uma capacidade de retenção de 10l/m² (ECOTELHADO, 2019). O coeficiente de *runoff* que será adotado neste trabalho para fins de cálculo será de 0,6, podendo esse valor sofrer variação, pois é altamente influenciado pelas condições climáticas e o regime de chuvas (JOBIM, 2013).

A intensidade pluviométrica da cidade de Macaé foi determinada com base nos estudos realizado por Gonçalves (2011), em que determinou os parâmetros a, b, c e d (Quadro 3) das curvas IDF geradas com dados do TRMM para os municípios brasileiros com mais de 100.000 habitantes. As curvas resultantes são a relação IDF, que podem ser expressas por equações do tipo:

$$I = \frac{a \cdot T_r^b}{(t + c)^d} \quad (1.1)$$

Onde:

- a, b, c e d são parâmetros ajustados para cada localidade ou estação de medição;
- I é a intensidade da chuva para um tempo de recorrência T_r com duração t .

Quadro 3: Parâmetros da curva IDF para cidade de Macaé.

Cidade	Estado	A	B	C	D
Macaé	Rio de Janeiro	775	0,15	7,8	0,7

Fonte: Adaptado (GONÇALVES, 2011).

O tempo de recorrência é determinado conforme as características da área a ser drenada. A partir da ABNT NBR 10844/1989 é adotado um tempo de recorrência de 5 anos com duração da precipitação de 5 minutos para coberturas (ABNT, 1989). Ainda, pela mesma norma, a área de contribuição de um telhado inclinado pode ser calculada de acordo com a equação da Figura 23, levando em consideração os incrementos devidos à inclinação da cobertura (ABNT, 1989).

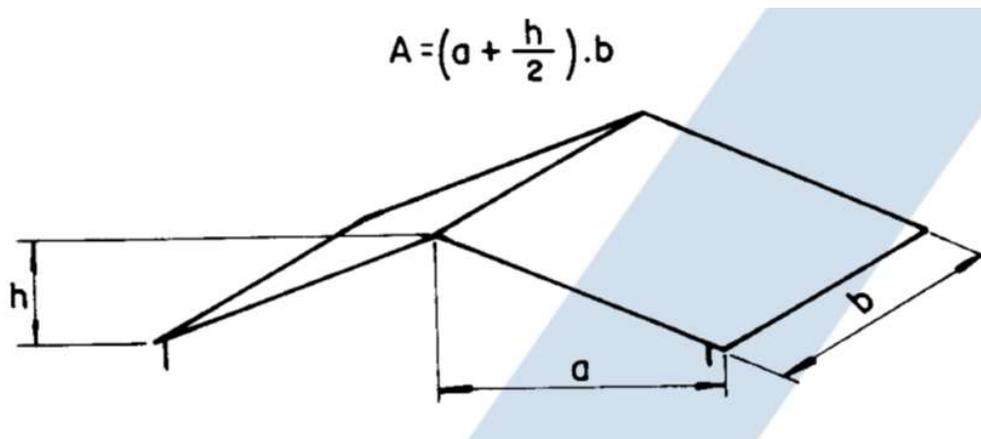


Figura 23: Superfície Inclinada.

Fonte: Associação brasileira de normas técnicas (1989).

Ainda de acordo com a NBR 10844, deve ser utilizada a fórmula abaixo para o cálculo da vazão de projeto.

$$Q = \frac{I \cdot A}{60} \quad (1.2)$$

Onde:

- Q = vazão de projeto, em L/min
- I = intensidade pluviométrica, em mm/h
- A = área de contribuição, em m²

Segundo Miguez *et al.* (2015), nem toda a vazão gerada pela chuva se transforma em escoamento superficial, principalmente devido à interceptação vegetal, retenções superficiais e infiltração, assim, aplica-se o coeficiente de *runoff* na Equação (1.2) para introduzir essa redução na vazão gerada. Logo, para o cálculo da vazão de projeto em telhados verdes deve-se levar em consideração o grau de absorção de água pela superfície que recebe a precipitação para reduzir a vazão gerada, principalmente pelo fenômeno de infiltração.

4.3.1 Calhas

Segundo a norma NBR 10844, a calha é um canal que recolhe a água de coberturas e a conduz a um ponto de destino, deve ter uma inclinação mínima de 0,5% e pode ser dimensionada através da fórmula de Manning-Strickler, indicada abaixo (ABNT, 1989).

$$Q = k \cdot \frac{S}{n} \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot i^{\frac{1}{2}} \quad (1.3)$$

Onde:

Q = vazão de projeto, em L/min S = área da seção molhada, em m²
 n = coeficiente de rugosidade P = perímetro molhado, em m
 R = S/P raio hidráulico, em m i = declividade da calha, em m/m
 K= 60.000

Tabela 6: Coeficientes de rugosidade.

Material	n
plástico, fibrocimento, aço, metais não-ferrosos	0,011
ferro fundido, concreto alisado, alvenaria revestida	0,012
cerâmica, concreto não-alisado	0,013
alvenaria de tijolos não-revestida	0,015

Fonte: Norma 10844 (ABNT, 1989).

Para facilitar o dimensionamento das calhas, a NBR 10844 fornece as capacidades de calhas semicirculares, utilizado coeficiente de rugosidade $n=0,011$ para algumas declividades. Esses valores foram calculados utilizando a fórmula de Manning-Strickler, considerando a lâmina de água igual à metade do diâmetro interno.

Tabela 7: Capacidades de calhas semicirculares com coeficiente de rugosidade $n=0,011$ (vazão em L/min).

Diâmetro interno (mm)	Declividades		
	0,5%	1%	2%
100	130	183	256
125	236	333	466
150	384	541	757
200	829	1.167	1.634

Fonte: Norma 10844 (ABNT, 1989).

4.3.2 Condutores Verticais e Horizontais

Os condutores verticais têm a função de captar águas de calhas e similares e conduzi-las até a unidade de armazenamento. A quantidade de condutores depende do número de saídas necessárias para a calha.

Portanto, o volume de vazão que deve ser considerado para o dimensionamento dos condutores verticais é a divisão da vazão total pelo número de saídas da calha.

A norma NBR 10844 sugere algumas recomendações que devem ser seguidas para o correto dimensionamento dos condutores verticais, são elas:

- Os condutores verticais devem ser projetados, sempre que possível, em uma só prumada. Quando houver necessidade de desvio, devem ser usadas curvas de 90° de raio longo ou curvas de 45°
- O diâmetro interno mínimo dos condutores verticais de seção circular é 70mm.

- O dimensionamento dos condutores verticais deve ser feito a partir dos seguintes dados:

Q = Vazão de projeto, em L/min

H = altura da lâmina de água na calha, em mm

L = comprimento do condutor vertical, em m

Sendo o diâmetro interno (D) do condutor vertical obtido através dos ábacos.

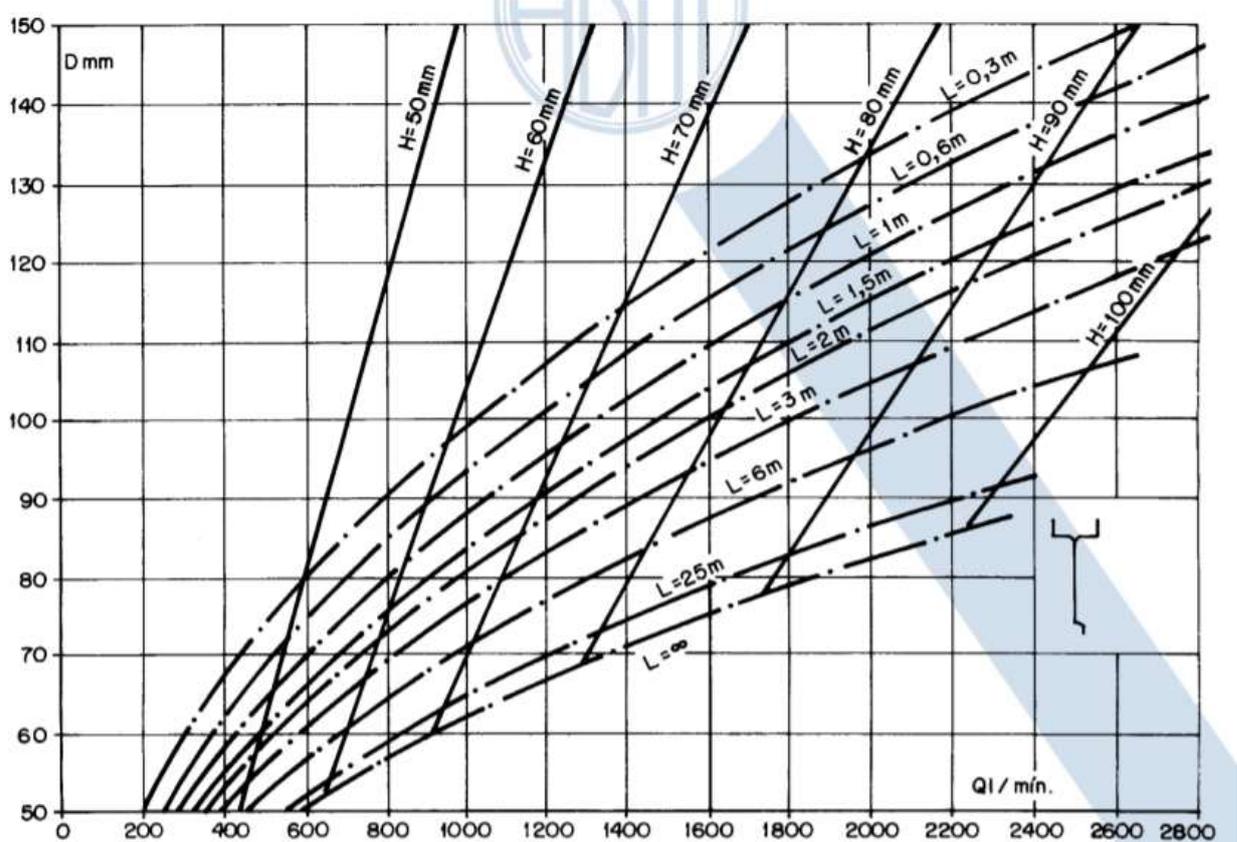


Figura 24: Ábaco para determinação do diâmetro de condutores verticais para calhas com funil de saída.
Fonte: Norma NBR 10844 (ABNT, 1989).

4.3.3 Previsão de Consumo

O sistema de captação e reaproveitamento de água pluvial pode ser projetado de forma a atender do consumo dos fins não potáveis da edificação tais como irrigação de plantas e jardim, lavagem de áreas impermeáveis, máquina de lavar roupa e lavagem de carros. Esse consumo pode variar com o tempo e nas diferentes regiões do país.

Aumentando seu consumo em dias mais quentes e reduzindo em dias chuvosos (AZEVEDO *et al.*, 1998).

O Quadro 4 apresenta o parâmetro de previsão de consumo de água para fins não potáveis e frequência das peças de utilização.

Quadro 4: Previsão de consumo de água.

Ponto de utilização	Unidade	Frequência
Irrigação	2 L/m ² x dia	2 vezes/semana
Máquina de lavar roupa	150 L/ciclo x lavagem	2 vezes/semana
Lavagem de carro	150 L/lavagem/carro	1 vez a cada 15 dias
Limpeza de calçada	2 L/m ² x dia	1 vez/semana

Fonte: Adaptado Tomaz (2009).

4.3.4 Reservatório de Armazenamento

A norma NBR 15527 (ABNT, 2007) apresenta vários métodos de cálculos para o dimensionamento dos reservatórios para armazenamento e aproveitamento da água de chuva para fins não potáveis. O método que será utilizado neste trabalho será o Prático Inglês, pois segundo Rupp *et al.* (2011), este requer somente valores de precipitação média anual e da área de projeção, sendo possível dimensionar o reservatório para qualquer caso. É importante destacar que este método não atende os casos em que é necessária uma demanda contínua de água de chuva, sendo para isso, adotado preferencialmente o Método de Rippl. Porém, para este trabalho, o Método Prático Inglês atende aos objetivos propostos.

Para o dimensionamento do reservatório de água pluvial utilizando o método Prático inglês, segundo a NBR 15527, deve-se utilizar a Equação (1.4).

$$V = 0,05.P.A \quad (1.4)$$

Onde:

- P é a precipitação média anual, expresso em milímetros (mm);
- A é a área de coleta em projeção, expresso em metros quadrados (m²);
- V é o volume de água aproveitável ou o volume de água da cisterna, expresso em litros (L).

4.4 Sistema de Painéis Fotovoltaicos Conectados à Rede

Neste estudo foi proposto o sistema conectado à rede elétrica, devido a segurança de utilização e a facilidade de instalação, além de possuir um custo menor quando comparado a sistemas ligados a bateria. Para saber a potência do kit necessário para satisfazer o consumo da casa hipotética, inicialmente foi necessário o levantamento do consumo médio mensal da residência.

Para estimar o consumo de energia elétrica da residência foi utilizado o simulador de consumo de energia elétrica da Enel. Neste cálculo foi levado em consideração os cômodos da residência e seus respectivos aparelhos elétricos, totalizando um consumo médio mensal que foi utilizado para o dimensionamento do sistema fotovoltaico.

4.5 Orçamento

Os custos para os sistemas foram levantados com base na tabela SINAPI 09/2019 e com empresas especializadas em construção de telhados verdes e na instalação de sistemas fotovoltaicos.

O levantamento de custos de materiais e serviços para implantação do sistema de telhado verde foi elaborado com a empresa Ecotelhado, pois é uma empresa especialista em infraestrutura verde urbana, além de apresentar a melhor solução para sistemas inclinados. Para o sistema de captação os custos de insumos e serviços foram levantados com base na tabela SINAPI 09/2019 e o orçamento da cisterna vertical modular foi levantado com a fabricante Tecnotri.

O dimensionamento do sistema fotovoltaico e os custos referentes aos equipamentos e instalação se deu através do levantamento e pesquisa de orçamento com a empresa EcoResidência, uma empresa especializada na atuação de obras deste ramo e localizada na cidade de Macaé.

4.6 Viabilidade Econômica

Com todos os custos levantados, foi realizada a análise de viabilidade econômica de cada sistema, levando em consideração o tempo de retorno do investimento, por meio do método *payback*.

O método de *payback* indica o número de períodos necessários para o retorno do investimento, sendo assim, quanto menor for o tempo de retorno de investimento de um projeto, menor é o risco do investimento. No entanto, um tempo de retorno de investimento alto apresenta um risco elevado na implantação do projeto em questão (SOUZA e CLEMENTE, 2008).

O *payback* é um método simples e fácil utilizado por empresas para calcular o tempo de retorno de um investimento. É o tempo necessário em que as economias acumuladas devido ao investimento se igualem ou superem o valor do próprio investimento.

$$Payback = \frac{Investimento}{Economias} \quad (1.5)$$

Segundo Ben (2007), o *payback* é muito útil para minimizar os riscos que os investidores estão sujeitos em épocas de instabilidade econômica, de alto risco ou de fortes modificações.

No entanto, este é um método de análise bastante limitado, pois não leva em consideração o risco do investimento, correção monetária ou financiamento.

5. ANALISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Previsão do Consumo Não Potável de Água

O consumo foi estimado com base no Quadro 4, considerando uma residência com 5 pessoas e possuindo uma área de 30 m² para irrigação do jardim, um quintal com 100 m² de calçada, além de um carro. Os resultados para consumo semanal e mensal são apresentados no Quadro 5.

Quadro 5: Consumo não potável, semanal e mensal.

Ponto de utilização	Consumo semanal (L)	Consumo mensal (L)
Irrigação	120	480
Máquina de lavar roupa	300	1200
Lavagem de carro	75	300
Limpeza de calçada	200	800
TOTAL	695	2780

Fonte: Autor (2019).

5.2 Previsão de Consumo de Energia Elétrica

Para o consumo de energia elétrica foi utilizado o simulador da Enel e foram realizadas duas simulações. A primeira foi considerada sem o uso de aparelho de ar condicionado, já a segunda levou em consideração a utilização de aparelho de ar condicionado. As simulações são apresentadas em detalhes no ANEXO A com os aparelhos elétricos considerados em cada cômodo, assim como o tempo de uso diário de cada aparelho e seu respectivo consumo mensal.

Cabe ressaltar que os valores obtidos destas simulações não necessariamente refletem os mesmos valores de consumo de uma residência real, podendo variar de acordo com o hábito de consumo de cada residência e também com a época do ano.

Os valores obtidos de consumo médio de energia elétrica pela residência são mostrados no Quadro 6.

Quadro 6: Consumo médio mensal de energia elétrica.

Consumo médio mensal	
Sem aparelho de condicionador de ar	349,00 kWh
Com aparelho de condicionador de ar	586,60 kWh

Fonte: Autor (2019).

5.3 Dimensionamento e Levantamento Quantitativo dos Componentes Hidráulicos

Para o dimensionamento dos componentes hidráulicos foram utilizados os valores do Quadro 7.

Quadro 7: Vazão de projeto.

Tempo de retorno (anos)	5
Tempo de duração (min)	5
Intensidade pluviométrica (mm/h)	165,6
Área de contribuição (m ²)	60
Coefficiente de <i>runoff</i>	0,6
Vazão de projeto (L/min)	99,36

Fonte: Autor (2019).

O sistema de condução de águas pluviais é composto de duas calhas, uma em cada água do telhado, com um ponto de saída cada uma.

Neste projeto foi proposta a utilização de calha semicircular de PVC com inclinação de 0,5%. A calha foi dimensionada de acordo com a Tabela 7, apresentando um diâmetro de 100mm e atendendo uma vazão de escoamento de 130 L/min. Para o dimensionamento dos condutores verticais foi utilizado o ábaco da Figura 24, considerando calhas com funil de saída e, para a vazão de projeto calculada, é utilizado o diâmetro mínimo recomendado pela NBR 10844.

A especificação dos componentes de condução das águas pluviais adotados no projeto, levando em consideração questões comerciais, é mostrado na Tabela 8.

Tabela 8: Componentes hidráulicos adotados no projeto.

Componente	Diâmetro (mm)	Inclinação (%)	Comprimento (m)
Calha 1	125	0,5	11,2
Condutor vertical 1	88	-	1,0
Calha 2	125	0,5	11,2
Condutor vertical 2	88	-	1,0

Fonte: Autor (2019).

O cálculo do dimensionamento do reservatório de armazenamento de água pluvial foi realizado pelo Método Prático Inglês, com os índices pluviométricos do município de Macaé obtidos a partir dos dados fornecido pelo (CLIMATE-DATA, 2019).

Quadro 8: Dimensionamento do reservatório.

Método Prático Inglês	
Precipitação média anual (mm)	1126
Precipitação aproveitável (mm)	675,6
Área de contribuição (m ²)	107,5
Volume do reservatório (L)	3630

Fonte: Autor (2019).

Assim, neste estudo, por questões econômicas, optou-se por escolher a utilização de duas cisternas vertical modular, que são instaladas no nível do terreno, com capacidade de 1050 L cada e dimensões 80x80x220cm (Figura 25). Segundo a fabricante Tecnotri (2019), elas se adaptam em corredores, garagens, terraços e jardins, além de poder harmonizar com o ambiente e compor a decoração. E o fabricante ainda acrescenta que os reservatórios podem ser instalados em série e que possuem fácil instalação, sendo disponibilizado um manual completo para instalação.



Figura 25: Cisterna modular vertical.
Fonte: Tecnotri (2019).

5.4 Dimensionamento e Levantamento Quantitativo dos Componentes do Sistema Fotovoltaico

O dimensionamento e o levantamento quantitativo dos componentes do sistema fotovoltaico foram realizados diretamente com a empresa EcoResidência. Foi considerado o consumo sem condicionares de ar para a realização do dimensionamento, pois muitos estudos apontam que o uso de telhado verde contribui para diminuir ou eliminar a necessidade do uso de condicionadores de ar.

Estudos realizados pela *United States Enviromental Protection Agency* (USEPA) mostraram que a temperatura média no verão em um telhado verde pode atingir entre 33 e 48 graus, enquanto que, num telhado convencional, pode chegar a 76 graus (RUIC, 2011). Já Catuzzo (2013) estudou a utilização de telhado verde em prédios e verificou que o edifício com telhado verde chegou a ficar 5,3 graus Celsius mais frio do que o edifício de concreto, além de aumentar a umidade relativa do ar em 15,7%.

O sistema fotovoltaico foi dimensionado considerando uma ligação monofásica, ou seja, a taxa de disponibilidade é de 30kWh/mês, uma tarifa média de R\$ 1,05/kWh e um consumo médio de energia elétrica de 349kWh/mês. De posse dessas informações a

empresa EcoResidência fez o dimensionamento e o levantamento quantitativo do sistema fotovoltaico, sendo o gerador de energia fotovoltaico de 2,68 kWp e composto pelos seguintes itens mostrado no Quadro 9.

Quadro 9: Levantamento quantitativo fornecido pela empresa EcoResidência do sistema fotovoltaico.

4 STAUBLI CONECTOR MC4 ACOPLADOR FEMEA
4 STAUBLI CONECTOR MC4 ACOPLADOR MACHO
1 INVERSOR SOLAR ECOSOLYS ECOS-2000 PLUS POTENCIA 2KW
1 MONITORAMENTO ECOSOLYS
50 CABO SOLAR NEXANS 0,6/1KV 1500V DC PRETO
50 CABO SOLAR NEXANS 0,6/1KV 1500V DC VERMELHO
8 PAINEL SOLAR BYD 335PHK-36 POLICRISTALINO 144 CEL. 335W HALF CELL 17% EFICIENCIA
1 STRING BOX ABB QUADRO 2 ENTRADAS 1 SAIDA 1000V
2 ESTRUTURA SOLAR PERFIL THUNDER TELHA COLONIAL 4,20M
2 ESTRUTURA SOLAR 4 PAINEIS FIXADOR GANCHO TELHA COLONIAL

Fonte: Autor (2019).

Os dados do sistema proposto são mostrados na figura abaixo.

DADOS DO CLIENTE

Consumo Médio	Localização	Distribuidora No. De Cliente	Tarifa	Instalação
349 kWh	Macaé - RJ	ENEL	R\$ 1.05000	Telhado Verde

DADOS DO SISTEMA PROPOSTO

Geração Média	Potência Pico	Preço por Watt	Área Aproximada	Peso Total
317 kWh	2.68 kWp	R\$ 4.69	15.81 m ²	178 Kg

Figura 26: Dados do sistema proposto.
Fonte: EcoResidência (2019).

Em sua proposta a empresa também fornece um gráfico onde faz uma comparação entre o consumo e a estimativa de geração, como é mostrado na Figura 27. Esses dados serão utilizados mais à frente para a estimativa do tempo de retorno do investimento.

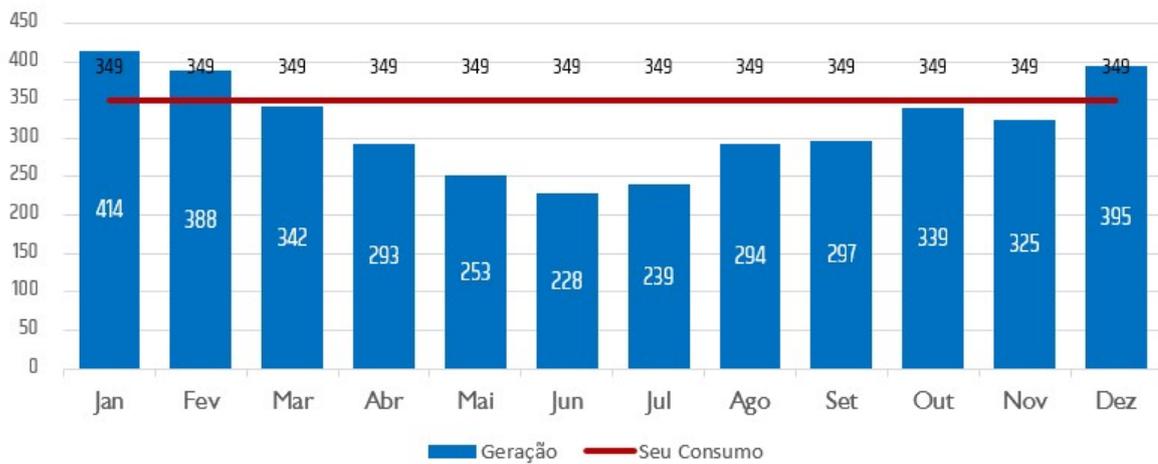


Figura 27: Gráfico de CONSUMO VS ESTIMATIVA DE GERAÇÃO.
Fonte: EcoResidência (2019).

5.5 Levantamento Quantitativo de Material do Telhado Verde

Como os materiais se distribuem ao longo da área do telhado, para o cálculo do quantitativo de materiais necessários para execução do telhado verde proposto deve-se inicialmente calcular a área do telhado.

Para a determinação da quantidade de chapas de compensado realizou-se a divisão da área do telhado ($107,5 \text{ m}^2$) pela área de cada chapa ($2,98 \text{ m}^2$) resultando em 37 chapas de compensado. O mesmo procedimento foi realizado para descobrir a quantidade de módulos do sistema modular, resultando em 134 módulos.

O levantamento do quantitativo de outros componentes do sistema modular foi realizado pela própria empresa com base na área levantada e na quantidade de pontos de dreno. A empresa forneceu as quantidades de 579 peças de grelha natural, 118 m^2 de membrana de absorção, 3kg de Forth Gel e 107 sacos de composto orgânico de 36l (Quadro 10).

Quadro 10: Descrição dos materiais.

Descrição	Quantidade	Unidade
Módulo Alveolar	134	Pç
Membrana de absorção	118	m^2
Grelha de pavimento natural	579	Pç

Composto orgânico 25kg	107	Um
Forth Gel Balde 12kg	3	Kg

Fonte: Autor (2019).

Em relação a quantidade de grama necessária, a empresa Ecotelhado sugere que sejam plantadas cerca de 20 mudas de grama por m², totalizando 2150 mudas.

O cálculo da quantidade de placa cimentícia necessária para os fechamentos laterais foi realizado com base no perímetro do telhado, resultando em 2 placas.

5.6 Levantamento de Custos de Serviços e Materiais

5.6.1 Telhado Verde

O custo de implantação do telhado verde foi obtido considerando inicialmente o custo de insumos e serviços para destelhamento da cobertura de telhado cerâmico e formação da base com chapas de compensado, impermeabilização sobre as chapas, fechamentos laterais e, por último, a instalação do telhado verde.

Os orçamentos foram realizados com base na tabela SINAPI 09/2019 e pelas informações fornecidas pela empresa Ecotelhado.

Para o destelhamento da cobertura e formação da base com chapas de madeira compensada, foi considerada uma adaptação entre a composição para retirada e recolocação de telha cerâmica capa-canal, com até duas águas e construção de tapume com chapa de madeira compensada, visto que não há este tipo de serviço na tabela SINAPI. O insumo do telhado foi substituído pelo insumo da chapa e foi adicionado os itens restantes para realização do trabalho, permanecendo a mesma mão de obra, considerando que carpinteiro e telhadista possuem um custo por hora muito próximo. O custo por m² é mostrado no Quadro 11.

Quadro 11: Composição de custo por m² para a retirada de telha cerâmica e colocação da base de compensado

Descrição	Unidade	Coefficiente	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
Carpinteiro	h	0,6127	27,46	16,82
Ajudante	h	0,2042	23,16	4,72
Serra circular	h	0,0235	29,92	0,70
Prego de aço 18 x 27	kg	0,15	10,90	1,63
Chapa de madeira compensada	un	0,344	55,00	18,92
Guincho elétrico de coluna	h	0,0177	29,10	0,52
TOTAL (R\$) por m²				43,31

Fonte: Autor (2019).

Considerando que a área da cobertura em estudo é de 107,5m², reunindo as informações com o quadro anterior, observa-se que o custo do serviço junto com o material é de aproximadamente R\$ 4655,83.

Para impermeabilização sobre as chapas foi considerada a utilização de Geomembrana de PVC de 0,5mm. A empresa Ecotelhado vende somente o material e não realiza a instalação para telhados menores que 1000m² em outros estados, assim, o preço da mão de obra, baseado em serviços similares, foi obtido através da tabela SINAPI 09/2019, conforme mostrado no Quadro 12.

Quadro 12: Custo da mão de obra por m² para execução da impermeabilização

Descrição	Unidade	Coefficiente	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
Pedreiro	h	0,20	28,00	5,60
Ajudante	h	0,20	21,86	4,37
TOTAL (R\$) por m²				9,97

Fonte: Autor (2019).

O preço fornecido pela empresa Ecotelhado de material para impermeabilização da cobertura foi de R\$ 1667,50 somando o custo da mão de obra de aproximadamente R\$ 1072,00, obtido através do Quadro 12, totaliza um custo de R\$ 2739,5 para a etapa de impermeabilização.

O orçamento do Sistema Alveolar Grelhado com serviço de instalação e vegetação foi realizado diretamente com a empresa Ecotelhado, sendo o serviço de instalação realizada pela empresa Subindo Verdes, uma empresa parceira da Ecotelhado que executa a instalação do sistema no estado do Rio de Janeiro. Os valores dos materiais (conforme o Quadro 10) e serviços, é mostrado no Quadro 13.

Quadro 13: Valores de materiais e serviços.

Área	107,5m ²
Descrição	TOTAL
SISTEMA ALVEOLAR GRELHADO + VEGETAÇÃO	R\$ 18.012,03
IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA	R\$ 8.809,26
FRETE – VALOR ESTIMADO	R\$ 3.000,00
TOTAL	R\$ 29.821,29

Fonte: Autor (2019).

Já no Quadro 14 são apresentados apenas os custos dos materiais para instalação do telhado verde, sendo os serviços de instalação de responsabilidade do contratante.

Quadro 14: Valores de materiais sem custos de serviços de instalação.

Área	107,5m ²
Descrição	TOTAL
SISTEMA ALVEOLAR GRELHADO + VEGETAÇÃO	R\$ 19.175,23
CONSULTORIA PARA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA	
FRETE – VALOR ESTIMADO	R\$ 3.000,00
TOTAL	R\$ 22.175,23

Fonte: Autor (2019).

Abaixo é apresentado de forma resumida os custos totais envolvidos para implantação do sistema de telhado verde.

Quadro 15: Custos totais para implantação do Sistema de Telhado Verde.

Descrição	TOTAL
Sistema de Telhado Verde + instalação	R\$ 37.216,62
Sistema de Telhado Verde sem instalação	R\$ 29.570,56

Fonte: Autor (2019).

5.6.2 Sistema de Captação de Água da Chuva

Os custos de serviço e material para instalação do sistema de captação e aproveitamento das águas pluviais foram levantados com base na tabela SINAPI 09/2019 e da empresa Tecnotri, fornecedora de cisternas modulares.

Quadro 16: Composição de custo por metro da instalação da calha

Descrição	Unidade	Coefficiente	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
Calha de beiral, semicircular de PVC, diâmetro 125mm	m	0,35	41,03	14,36
Parafuso	un	3	0,04	0,12
Bocal PVC	un	0,33	17,20	5,67
Cabeceira	un	0,22	5,10	1,12
Emenda	un	0,22	10,26	2,25
Suporte Metálico	un	1,55	14,10	21,85
Vedação	un	0,44	0,40	0,17
Ajudante	h	0,25	21,86	5,46
Telhadista	h	0,156	25,04	3,90
TOTAL (R\$) por m				54,90

Fonte: Autor (2019).

Para instalação de 22,4m de calha somado a mais 2m de condutor pluvial, que tem um custo de R\$ 10,69 por metro (SINAPI,2019), e duas cisternas vertical modular de R\$ 1518,00 cada (TECNOTRI,2019), foi estimado um custo total de R\$ 4287,14 para o sistema de captação e aproveitamento da água da chuva.

5.6.3 Sistemas de Painéis Fotovoltaicos

O custo para adquirir o sistema fotovoltaico foi obtido diretamente com a empresa EcoResidência que forneceu o valor dos equipamentos e serviços necessários para implantação do sistema, como mostrado na Figura 28.

	MÓDULOS FOTOVOLTAICOS BYD 335-PHK-36 8 Painéis de 335 Watts		INVERSOR ecoSolys Ecos 2000 plus 1 Inversor(es) de 2 Kilowatt(s)
INVESTIMENTO			
Equipamento (Kit Fotovoltaico + Frete) *		R\$ 7,592.71	
Transformador (Não se faz necessário)		R\$ 0.00	
Serviços (Projeto + Instalação + Homologação)**		R\$ 4,989.84	
		R\$ 12,582.55	

* Equipamento pode sofrer alteração conforme disponibilidade
** Proposta válida por 15 dias

Figura 28: Orçamento realizado com a empresa EcoResidência.
Fonte: EcoResidência (2019).

5.7 Análise da Viabilidade Econômica do Sistema

5.7.1 Telhado Verde

O retorno financeiro do sistema do telhado verde foi estimado com base na economia no consumo de energia elétrica com o uso de condicionadores de ar. Assim, neste trabalho, foi considerado o uso médio de 4 horas diárias de ar condicionado, sendo esse uso maior ou menor dependendo da época do ano. Considerando o conforto térmico que o telhado verde proporciona, reduzindo ou eliminando a necessidade de uso de condicionadores de ar, foi considerado para efeito de cálculo que a utilização do telhado verde reduziria o consumo de condicionadores de ar de, no mínimo, 4 horas diárias.

Para uma estimativa mais precisa, foi considerado um aumento de 10% ao ano na tarifa de luz, visto que nos últimos 5 anos as contas da Enel deram um salto de 75%, e uma tarifa de R\$ 1,05kWh. Analisando o Quadro 6 é possível verificar que o consumo médio de energia elétrica com a redução do uso de condicionadores de ar é de aproximadamente 237kWh/mês, sendo o cálculo do retorno financeiro do sistema do telhado verde com instalação exemplificado abaixo.

Quadro 17: Retorno do investimento para o sistema de Telhado Verde.

Ano	Energia economizada (kWh)	Tarifa (R\$)	Retorno Acumulado	Lucro Anual
1	2844	1,05	R\$ 2.986,20	-R\$ 34.230,42
2	2844	1,16	R\$ 6.271,02	-R\$ 30.945,60
3	2844	1,27	R\$ 9.884,32	-R\$ 27.332,30
4	2844	1,40	R\$ 13.858,95	-R\$ 23.357,67
5	2844	1,54	R\$ 18.231,05	-R\$ 18.985,57
6	2844	1,69	R\$ 23.040,35	-R\$ 14.176,27
7	2844	1,86	R\$ 28.330,59	-R\$ 8.886,03
8	2844	2,05	R\$ 34.149,85	-R\$ 3.066,77
9	2844	2,25	R\$ 40.551,03	R\$ 3.334,41

Fonte: Autor (2019).

Com base no quadro acima, podemos analisar que o tempo médio de retorno do investimento é de 8-9 anos, se configurando em um retorno de longo prazo.

5.7.2 Sistema de Captação e Aproveitamento de Água da Chuva

Segundo o relatório anual elaborado pela CEDAE (Companhia Estadual de Águas e Esgotos), a Estação de Tratamento de Água de Macaé trata, em média, 700 litros de água por segundo e abastece em torno de 243.000 habitantes (CEDAE,2018). Ou seja, o macaense tem um consumo médio de água de aproximadamente 200 Litros/hab/dia ou 6m³ mensal.

Considerando a residência proposta neste estudo com 4 habitantes, temos um consumo médio de 24m³ por mês. O Quadro 18 mostra a estrutura tarifária da cidade de Macaé por faixa de consumo.

Quadro 18: Água e esgoto- Estrutura tarifária para edificações domiciliares da cidade de Macaé.

CATEGORIA	FAIXA (m ³)	MULTIPLICADOR	TARIFA (R\$)
DOMICILAR	CONTA MÍNIMA (15m ³)	1,00	3,487
	0-15	1,00	3,995
	16-30	2,20	8,790

A cobrança de esgoto é igual à cobrança de água.

Fonte: Adaptado da CEDAE (2019).

Com o sistema de captação de água de chuva proposto nesse estudo, é possível economizar mensalmente um consumo médio de 2,1m³ de água potável mais 2,1m³ de esgoto. Analisando o quadro acima é possível verificar que temos uma economia média mensal de 4,2m³ (água+esgoto) que está na faixa de 16-30. No entanto, sabe-se que as tarifas de água e esgoto da CEDAE aumentam anualmente. Observando a estrutura tarifária da CEDAE desde o ano 2012 até 2019, verifica-se que teve um aumento médio de 13% ao ano no valor da tarifa e considerando que os cenários se repitam, este aumento foi levado em consideração para o cálculo do retorno financeiro do sistema de captação. O cálculo do *payback* é mostrado no Quadro 19.

Quadro 19: Retorno financeiro do investimento para o sistema de captação de água da chuva

Ano	Volume (m ³) anual de água + esgoto	Tarifa (R\$)	Retorno acumulado	Lucro Annual
1	50,4	8,790	R\$ 443,02	-R\$ 3844,12
2	50,4	9,933	R\$ 943,62	-R\$ 3343,52
3	50,4	11,224	R\$ 1509,31	-R\$ 2777,83
4	50,4	12,683	R\$ 2148,54	-R\$ 2138,60
5	50,4	14,332	R\$ 2870,86	-R\$ 1416,28
6	50,4	16,195	R\$ 3687,09	-R\$ 600,05
7	50,4	18,300	R\$ 4609,43	R\$ 322,29

,Fonte: Autor (2019).

Assim, podemos verificar que o tempo de retorno do investimento para o sistema de captação e aproveitamento de água de chuva é entre 6-7 anos.

5.7.3 Sistema Fotovoltaico

Para estimar o retorno do investimento ou *payback* para o sistema fotovoltaico, foi considerado um aumento de 10% ao ano na tarifa. Também foi considerado uma perda

de geração de energia de 0,5% ao ano no sistema fotovoltaico, devido a depreciação dos painéis solares. O cálculo do *payback* não inclui valores adicionais por bandeira vermelha ou contribuição da iluminação pública.

Uma vez que contamos com o valor da geração fotovoltaica média por mês (Figura 27), podemos calcular a quantidade de energia gerada durante um ano e assim calcular o retorno financeiro e o lucro anual do investimento, que é a diferença entre o retorno acumulado e o valor do investimento, como mostrado no Quadro 20.

Quadro 20: Retorno financeiro do investimento para o sistema fotovoltaico.

Ano	Pago Anual sem FV (R\$)	Pago Anual com FV (R\$)	Tarifa (R\$)	Retorno Acumulado	Lucro Annual
1	4.397,40	401,15	1,05	R\$ 3.996,25	-R\$ 8.586,30
2	4.837,14	463,24	1,16	R\$ 8.370,15	-R\$ 4.212,40
3	5.320,85	533,75	1,27	R\$ 13.157,25	R\$ 574,71
4	5.852,94	613,72	1,40	R\$ 18.396,48	R\$ 5.813,93
5	6.438,23	704,34	1,54	R\$ 24.130,37	R\$ 11.547,82
6	7.082,06	806,96	1,69	R\$ 30.405,47	R\$ 17.822,92
7	7.790,26	923,05	1,86	R\$ 37.272,68	R\$ 24.690,13
8	8.569,29	1.054,29	2,05	R\$ 44.787,67	R\$ 32.205,13
9	9.426,22	1.202,55	2,25	R\$ 53.011,34	R\$ 40.428,79
10	10.368,84	1.369,92	2,48	R\$ 62.010,25	R\$ 49.427,71
11	11.405,72	1.558,74	2,72	R\$ 71.857,23	R\$ 59.274,69
12	12.546,30	1.771,63	3,00	R\$ 82.631,90	R\$ 70.049,36
13	13.800,92	2.011,50	3,30	R\$ 94.421,33	R\$ 81.838,78
14	15.181,02	2.281,63	3,62	R\$ 107.320,72	R\$ 94.738,17
15	16.699,12	2.585,67	3,99	R\$ 121.434,17	R\$ 108.851,62
16	18.369,03	2.927,70	4,39	R\$ 136.875,50	R\$ 124.292,95
17	20.205,93	3.312,29	4,82	R\$ 153.769,14	R\$ 141.186,60
18	22.226,53	3.744,51	5,31	R\$ 172.251,16	R\$ 159.668,61
19	24.449,18	4.230,06	5,84	R\$ 192.470,28	R\$ 179.887,74
20	26.894,10	4.775,26	6,42	R\$ 214.589,12	R\$ 202.006,57
21	29.583,51	5.387,22	7,06	R\$ 238.785,41	R\$ 226.202,86
22	32.541,86	6.073,80	7,77	R\$ 265.253,47	R\$ 252.670,92
23	35.796,05	6.843,84	8,55	R\$ 294.205,68	R\$ 281.623,13

Ano	Pago Anual sem FV (R\$)	Pago Anual com FV (R\$)	Tarifa (R\$)	Retorno Acumulado	Lucro Annual
24	39.375,65	7.707,14	9,40	R\$ 325.874,19	R\$ 313.291,64
25	43.313,21	8.674,66	10,34	R\$ 360.512,74	R\$ 347.930,19

Fonte: Autor (2019).

Com base no quadro acima, podemos verificar que o tempo de retorno do investimento para o sistema fotovoltaico é entre 2-3 anos, sendo considerado um investimento de médio prazo.

No entanto, devido a integração entre energia solar e telhado verde temos que a energia produzida tem um aumento de cerca de 8,3%, o cálculo do novo retorno financeiro levando em consideração esse aumento é mostrado abaixo.

Quadro 21: Retorno financeiro do sistema fotovoltaico integrado a telhado verde.

Ano	Pago Anual sem FV (R\$)	Pago Anual com FV (R\$)	Tarifa (R\$)	Retorno Acumulado	Lucro Anual
1	4.397,40	378,00	1,05	R\$ 4.019,40	-R\$ 8.563,15
2	4.837,14	415,80	1,16	R\$ 8.440,74	-R\$ 4.141,81
3	5.320,85	457,38	1,27	R\$ 13.304,21	R\$ 721,67
4	5.852,94	503,12	1,40	R\$ 18.654,04	R\$ 6.071,49
5	6.438,23	553,43	1,54	R\$ 24.538,84	R\$ 11.956,29
6	7.082,06	608,77	1,69	R\$ 31.012,12	R\$ 18.429,58
7	7.790,26	669,65	1,86	R\$ 38.132,74	R\$ 25.550,19
8	8.569,29	736,62	2,05	R\$ 45.965,41	R\$ 33.382,86
9	9.426,22	810,28	2,25	R\$ 54.581,35	R\$ 41.998,80
10	10.368,84	891,30	2,48	R\$ 64.058,88	R\$ 51.476,34
11	11.405,72	980,43	2,72	R\$ 74.484,17	R\$ 61.901,63
12	12.546,30	1.078,48	3,00	R\$ 85.951,99	R\$ 73.369,44
13	13.800,92	1.186,33	3,30	R\$ 98.566,59	R\$ 85.984,04
14	15.181,02	1.304,96	3,62	R\$ 112.442,65	R\$ 99.860,10
15	16.699,12	1.435,45	3,99	R\$ 127.706,31	R\$ 115.123,77
16	18.369,03	1.646,07	4,39	R\$ 144.429,27	R\$ 131.846,72
17	20.205,93	1.910,11	4,82	R\$ 162.725,09	R\$ 150.142,54
18	22.226,53	2.210,50	5,31	R\$ 182.741,11	R\$ 170.158,57
19	24.449,18	2.551,87	5,84	R\$ 204.638,43	R\$ 192.055,88
20	26.894,10	2.939,40	6,42	R\$ 228.593,12	R\$ 216.010,58

Ano	Pago Anual sem FV (R\$)	Pago Anual com FV (R\$)	Tarifa (R\$)	Retorno Acumulado	Lucro Anual
21	29.583,51	3.378,92	7,06	R\$ 254.797,71	R\$ 242.215,16
22	32.541,86	3.876,95	7,77	R\$ 283.46,61	R\$ 270.880,07
23	35.796,05	4.440,80	8,55	R\$ 314.817,85	R\$ 302.235,31
24	39.375,65	5.078,65	9,40	R\$ 349.114,85	R\$ 336.532,31
25	43.313,21	5.799,66	10,34	R\$ 386.628,41	R\$ 374.045,86

Fonte: Autor (2019).

Analisando o Quadro 21, observamos que o tempo de retorno financeiro integrado ainda continua entre 2-3 anos, porém aumentando significativamente o lucro do investimento.

5.7.4 Todos os Sistemas Integrados

Para um melhor entendimento da viabilidade econômica do estudo proposto, se faz necessário saber qual é o tempo de retorno financeiro dos sistemas integrados. Com base nos dados fornecidos nos quadros acima, foi possível calcular o *payback* integrado dos sistemas, como é mostrado no Quadro 22.

Quadro 22: Tempo de retorno financeiro dos sistemas integrados

Ano	Retorno acumulado	Lucro anual
1	R\$ 7,448.62	-R\$ 46,168.94
2	R\$ 15,655.38	-R\$ 37,962.18
3	R\$ 24,697.84	-R\$ 28,919.72
4	R\$ 34,661.53	-R\$ 18,956.03
5	R\$ 45,730.75	-R\$ 7,886.81
6	R\$ 57,739.56	R\$ 4,122.00

Fonte: Autor (2019).

5.8 Síntese dos Resultados

Na Tabela 9 a seguir, é possível verificar o resumo do orçamento de serviços e materiais necessários para execução e o tempo estimado de retorno financeiro do investimento (*Payback*) para cada sistema proposto no presente estudo.

Tabela 9: Orçamento por sistema.

Descrição	Valor (R\$)	Payback
Sistema de cobertura verde	37.216,62	8-9 anos
Sistema de captação de água pluvial	4.287,14	6-7 anos
Sistema fotovoltaico	12.113,80	2-3 anos
TOTAL (R\$)	53.617,56	5-6 anos

Fonte: Autor (2019).

Já a Figura 29 apresenta o gráfico da contribuição do valor de cada sistema para o custo final estimado.

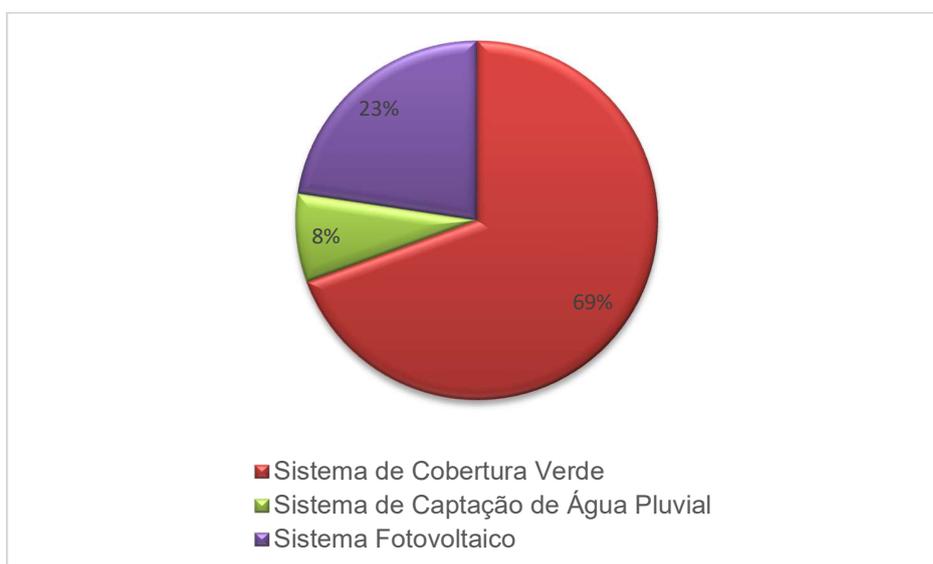


Figura 29: Gráfico da porcentagem de cada sistema em relação ao custo total.
Fonte: Autor (2019).

Analisando a Figura 29 é possível verificar que a cobertura verde é responsável por cerca de 70% do valor total do investimento necessário. E considerando a área de implantação do sistema de 107,5m², apresenta um custo de aproximadamente R\$ 346,20/m². Esse valor está um pouco acima do esperado, pois um estudo realizado por Savi (2012), em que compara os custos de implantação de coberturas verdes semelhantes ao adotado neste estudo, chegou a valores inferiores a R\$ 280,00/m².

Este aumento se deve principalmente pela escolha da instalação da cobertura verde por mão de obra especializada e, possivelmente, pelo valor do frete. Uma forma de reduzir este custo seria o contratante realizar a própria instalação, uma vez que os

módulos apresentam montagem simples e a empresa fornece todas as informações, instruções, manuais e auxílios necessários.

E também vale ressaltar que telhados verdes com sistemas de retenção de água, como o utilizado neste trabalho, apresentam custos mais elevados, no entanto é importante destacar que o mecanismo de retenção de água auxilia na manutenção dos telhados, devido à reserva de água para as raízes da vegetação, reduzindo ou eliminando a necessidade de irrigação do sistema e, conseqüentemente, reduzindo os custos de manutenção dos mesmos (SAVI,2012).

Apesar da cobertura verde apresentar um custo muito superior e um maior *payback* em relação aos sistemas propostos nesse estudo, seu custo-benefício não pode ser julgado de forma completa, uma vez que os principais benefícios oferecidos por esse sistema não podem ser precificados pelo presente estudo.

O telhado verde contribui para a redução da demanda de energia elétrica da residência, uma vez que o processo de evapotranspiração da vegetação resfria o ambiente externo e interno, assim como diminui o efeito da ilha de calor. A cobertura verde ainda devido a sua capacidade de isolamento térmico, possibilita um maior conforto térmico para edificação tanto no verão como no inverno, reduzindo ou eliminando a necessidade de utilização de aparelhos de ar condicionado. Além de contribuir para mais áreas verdes na cidade, aumento das áreas permeáveis, melhoria da qualidade do ar, microclimas mais equilibrados, aumento da biodiversidade, entre outros benefícios.

O telhado verde também contribui para melhorar a eficiência do sistema fotovoltaico, aumentando a geração de energia elétrica e, conseqüentemente, aumentando o retorno financeiro do investimento. E também apresenta uma vida útil de duas a três vezes maior em relação a telhados tradicionais (ECOTELHADO, 2019).

Para execução do sistema de captação de água pluvial foi estimado um valor de R\$ 4287,14 (Tabela 9) que representa cerca de 8% (Figura 29) do custo total do investimento com *payback* estimado entre 6-7 anos. A economia proporcionada por esse

sistema pode ser considerada relativamente baixa, no entanto, a implantação integrada ao sistema de telhado verde gera diversos benefícios, entre eles podemos citar a redução do escoamento superficial, alívio ao sistema de drenagem urbano, o aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis, além de contribuir para preservação da água como um recurso natural e escasso.

Já o sistema fotovoltaico apresenta um custo de R\$ 12.113,80 que representa cerca de 23% do investimento total, além de apresentar o menor *payback* entre os sistemas propostos.

A vida útil de um sistema fotovoltaico conectado à rede é de 30 a 40 anos, tendo o painel solar uma garantia de 25 anos para produção de no mínimo 80% da potência nominal. Enquanto o inversor apresenta uma vida útil de cerca de 10 anos, podendo chegar a 15 anos ou mais. Isso reflete a alta viabilidade desse sistema para o estudo proposto.

E por fim, analisando os sistemas integrados com um custo total de R\$ 53.167,56 e um *payback* de 5-6 anos, e todos os benefícios citados durante o decorrer do trabalho. Podemos concluir que o estudo proposto é viável economicamente, no entanto, apresenta um alto custo inicial de investimento.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- A expansão urbana vem causando muitos impactos ambientais, com diversos efeitos negativos, como o aumento de enchentes e alagamentos, agravamento da crise energética, emissão de gases contribuintes às mudanças climáticas e à demanda crescente da água, por exemplo. Diante desse cenário, depara-se com a necessidade de buscar soluções sustentáveis que possam compensar ou amenizar os impactos negativos causados pela urbanização;
- A implantação de um sistema de telhado verde integrado à tecnologia fotovoltaica com captação e aproveitamento de água da chuva sob uma estrutura de telhado cerâmica existente, proposto por este estudo é uma solução sustentável para as áreas urbanas consolidadas;
- Os resultados do sistema proposto mostraram que, apesar do alto custo inicial, pode ser considerada uma opção viável economicamente, tendo um retorno do investimento a médio prazo e em um tempo menor do que a metade da vida útil dos sistemas;
- O custo de implantação do telhado verde foi de R\$ 37.216,62 cerca de 70% do custo total, estimado em R\$ 53.617,56, apresentando um *payback* de 8-9 anos. Porém, foi levado em consideração apenas a redução da energia elétrica que o telhado verde oferece por melhorar o conforto térmico, não sendo possível precificar os demais benefícios, tais como o aumento da área verde útil, absorção de ruído, redução do efeito da ilha de calor e dos eventos de cheias urbanas, aumento do valor da propriedade, melhoria da qualidade do ar, aumento da biodiversidade, entre muitos outros;
- Os telhados verdes, mesmo oferecendo incontáveis benefícios, se esbarram em inúmeros empecilhos como a relação custo/benefício e a falta de incentivos governamentais para implantação desse tipo de sistema. Segundo Martins (2010), uma das razões que leva a falta de incentivos por parte do governo, está atrelada a falta de informações científicas que esclareçam os benefícios da implantação das coberturas verdes;

- A integração entre telhados verdes com sistemas de painéis fotovoltaicos pode representar um grande ganho na eficiência energética da edificação, melhorando em até 8,3% a geração de energia elétrica devido ao resfriamento da temperatura das placas proporcionado pelo telhado verde. O custo de implantação do sistema fotovoltaico foi de R\$ 12.113,80 e o tempo de retorno do investimento foi de 2-3 anos;
- O sistema de captação e aproveitamento da água da chuva apresentou um custo de R\$ 4.287,14, representando 8% do custo total e um tempo de retorno do investimento de 6-7 anos. A economia financeira proporcionada pelo sistema de captação de água das chuvas pode ser considerada relativamente baixa, mas traz benefícios que vão além da economia de água potável;
- A integração do telhado verde com o sistema de captação e aproveitamento da água da chuva gera diversos benefícios, já citados anteriormente, como a redução do escoamento superficial, a redução do risco de enchentes e alagamentos, o alívio da drenagem urbana, o aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis e um melhor aproveitamento de um recurso natural escasso;
- Sendo assim, a solução proposta neste estudo com a implantação do sistema de telhado verde integrado à tecnologia fotovoltaica com captação e aproveitamento da água da chuva sob uma estrutura de telhado cerâmico existente, como forma de amenizar os impactos ambientais causados pela urbanização, apesar de apresentar um alto custo inicial, quando integrados geram diversos benefícios que justificam o seu investimento, além de apresentar uma melhor eficiência energética, otimizando o uso da água e o consumo de energia elétrica da edificação.

7. TRABALHOS FUTUROS

Estudos envolvendo telhados verdes são variados, porém recentes. A conclusão desse estudo abre campo para outras pesquisas correlacionadas, visando ampliar o conhecimento a respeito das coberturas verdes e de suas reais potencialidades.

Segue algumas sugestões para trabalhos futuros:

- ✓ Verificar a adaptação de uma estrutura de telhado cerâmico para recebimento de telhado verde.
- ✓ Pesquisar acerca dos benefícios de integração do telhado verde com outros sistemas e dos benefícios da utilização de telhados verdes em larga escala.
- ✓ Estudar a utilização do telhado verde como filtro para melhoria da água de chuva para aproveitamento.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland - Programa Soluções para Cidades. Iniciativas Inspiradoras - **Projeto Técnico**: Reservatórios de Detenção. [S.l.: s.n.], 2013.

ALMEIDA NETO, P. de et al. **Análise quali-quantitativo do escoamento superficial gerado pela água da chuva através de cobertura verde leve**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS, 6. Belo Horizonte: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 18-20 mar. 2005.

ANEEL, Cadernos Temáticos. **Micro e minigeração distribuída. Sistema de Compensação de Energia Elétrica**. Centro de Documentação–Cedoc , Brasília, DF, Brasil:, 2016.

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

AZEVEDO NETO, J.M.de et al., **Manual de Hidráulica**. 8 ed. São Paulo – Brasil: Edgard Blucher LTDA, 1998. 669 p.

BALADES, J. D.; BERGA, P.; BOURGOGNE, P., Impact d'une tranchée drainante par temps de pluie. In: **International Conference on Innovative Technologies in Urban Storm Drainage**. Lyon: GRAIE. 1998. p.551-558.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S., **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**: Porto Alegre: ABRH, 2ª edição, p.318, 2011.

BEN, F. **Modelo econômico de gestão ambiental** – Mega. Pós-Graduação em Engenharia de Produção – UFRS, Rio Grande do Sul, 2007.

BRAGA, B. et al. **Introdução à Engenharia Ambiental**. São Paulo: Prentice Hall, 2002. 305 p.

BRASIL. Ministério da Educação. **Manual de educação para o consumo sustentável**. Brasília: MEC/MMA/IDEC, 2005. 160 p.

CANHOLI, A. P. **Soluções Estruturais Não-Convencionais em Drenagem Urbana**. 1995. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo.

CANTOR, Steven L. . **Green Roofs in Sustainable Landscape Design**. W.W. Norton & Company, New York – London, 2008.

CATUZZO, Humberto. **Telhado verde: impacto positivo na temperatura e umidade do ar. O caso da cidade de São Paulo.** 2013. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

CLIMATE-DATA. **CLIMA MACAÉ.** Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/rio-de-janeiro/macaee-4046/>. Acesso em: 11 nov. 2019.

ECOTELHADO. **Telhado Verde Alveolar Grelhado.** Disponível em: <https://ecotelhado.com/sistema/ecotelhado-telhado-verde/sistema-modular-alveolar-grelhado/>. Acesso em: 9 nov. 2019.

EDWARDS, Brian. **O guia básico para a sustentabilidade.** Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2008.

FERRAZ, I, L. **O desempenho térmico de um sistema de cobertura verde em comparação ao sistema tradicional de cobertura com telha cerâmica.** 2012. 150 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. 2012.

GETTER, K. L.; ROWE. D. B. **The Role of Extensive Green Roofs in Sustainable Developments.** HortScience: American Society For Horticultural Science. Michigan: AshsPublications, 2006, p. 1276-1285;

GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. **Energia e meio ambiente no Brasil.** Estud. av., São Paulo, v. 21, n. 59, p. 7-20, Apr. 2007.

GONÇALVES, L. S. **Relações Intensidade-Duração-Frequência com base em estimativas de precipitação por satélite.** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011

GREEN ROOF Project. **Almanac Journal of record, opinion and news,** University of Pennsylvania, Philadelphia, v. 55, n. 6, 2008.

HUI, S. C. M.; CHAN, H. **Development of modular green roofs for high-density urban cities.** In: World Green Roof Congress, 2008, London. Anais... 2008. p. 1-12.

IBIAPINA, M. B.; SILVA, V. G.; ILHA, M. S. de O.; KOWALTOWSKI, D. C. C. K. **Pesquisa Experimental para avaliar a qualidade da água e a capacidade de retenção de água pluvial em coberturas verdes em Campinas – Brasil.** SBCS10 - III Simpósio Brasileiro de Construção Sustentável. São Paulo, 2010.

International Green Roof Association – IGRA. **Green roof types.** Disponível em <<http://www.igra-world.com>>.

JONSTON, J.; NEWTON, J. **Build Green**: A guide to using plants on roofs, walls and pavements. London: Mayor of London, 2004. p. 1-121.

KOLB, W. **Telhados de cobertura verde e manejo de águas pluviais**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 4. 2003, Juazeiro.

LIMA, Herlander Mata; SILVA, Evaristo Santos; RAMINHOS, Cristina. **Bacias de retenção para gestão do escoamento: métodos de dimensionamento e instalação**. Rem: Rev. Esc. Minas, Ouro Preto, v. 59, n. 1, p. 97-109, Mar. 2006

MARTINS, Filipe Daniel Painço. **Coberturas Verdes**: Seu contributo para a eficiência energética e sustentabilidade. 2010. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura, Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2010.

MAY, S. **Caracterização, tratamento e reuso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em edificações**. Tese de Doutorado – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

MCGRATH, M. **Países emergentes ‘superam pela 1ª vez’ os mais ricos em investimento em energia limpa**. BBC, Londres, 5 jun. 2016. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/geral-36448964>>. Acesso em: 10 out. 2019.

MENTENS, J.; RAES, D.; HERMY, M. 2006. **Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century**, Landscape and Urban Planning. Amsterdam, v.27, p.217-226.

MIGUEZ, M. G., VERÓL, A. P., REZENDE, O. M., 2015, **Drenagem Urbana: Do Projeto Tradicional à Sustentabilidade**, 1ª edição, Elsevier, ISBN 978-85-352-7746-3, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

MINKE, Gernot. **Tectos verdes. Planificación, ejecución, consejos prácticos**. Editorial Fin de Siglo, Montevideo, Uruguay, 2004.

MIRANDA, R. A. C.; OLIVEIRA, M. V. S.; SILVA, D. F. D. **Ciclo hidrológico planetário: abordagens e Conceitos**. Geo UERJ, v. 1, n. 21, p. 109-119, 2010.

OHNUMA JÚNIOR, Alfredo Akira. **Medidas não convencionais de reservação d'água e controle da poluição hídrica em lotes domiciliares**. 2008. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

OLIVEIRA, Tarcísio Dorn; CHRISTMANN, Samara Simon; PIEREZAN, Juliene Biazzí. **Aproveitamento, captação e (re)uso das água pluviais na arquitetura**. Revista

Gestão e Desenvolvimento em Contexto. Universidade de Cruz Alta, v.2, n.2, p. 1-15, 2014.

OTTONI, A. B.; ROSIN, J. A. R. D. G.; FOLONI, F. M.; **Drenagem urbana: Soluções Alternativas Sustentáveis**. Tupã: ANAP, 2018. p. 1-118.

PAZ, A. R. **Hidrologia Básica**. Apostila da Disciplina Hidrologia Aplicada, Curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia, Caxias do Sul, RS: UERGS, 2004.

PECK, S. W.; CALLAGHAN, C.; KUHN, M. E.; BASS, B. **Greenbacks from Green Roofs: Forging a New Industry in Canada**: Status report on Benefits, Barriers and Opportunities for Green Roof and Vertical Garden Technology Diffusion. Canada Mortgage and Housing Corporation, Canada. 1999, 5-78 p.

PEREIRA, F.; OLIVEIRA, M. **Curso técnico instalador de energia solar fotovoltaica**. Porto: Publindústria, 2011.

PINHO, J.; GALDINO, M. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014.

RUIC, G. **Telhados verdes podem dispensar o uso de ar condicionado**. REVISTA EXAME, 2011. Disponível em: <https://exame.abril.com.br/tecnologia/telhados-verdes-podem-dispensar-o-uso-de-ar-condicionado/>. Acesso em: 11 nov. 2019.

RUPP, Ricardo Formagiarini; MUNARIM, Ulisses; GHISI, Eneidir. **Comparação de métodos para dimensionamento de reservatórios de água pluvial**. Ambient. constr., Porto Alegre, v. 11, n. 4, p. 47-64, Dec. 2011.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial de geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Florianópolis: LABSOLAR, 2004.

SANTIAGO, D. R. **Urbanização acelerada e as questões ambientais no Brasil: Uma relação de sucesso ou fracasso?** In: Encontro Nacional de Estudos Populacionais: População, Governança e Bem-Estar, 2014, São Pedro, SP. Encontro Nacional de Estudos Populacionais: População, Governança e Bem-Estar. Belo Horizonte: ABEP, 2014. v. 19: 20.

SAVI, Adriane Cordon. **Telhados verdes: análise comparativa de custo com sistemas tradicionais de cobertura**. 2012. 125 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

SCHUELER, T. R., 1987. **Controlling Urban Runoff: A Practical Manual for Planning and Designing Urban BMPs**. Department of Environmental Programs, Metropolitan Washington Council of Governments.

SILVA, J, A, B. et al. **Á urbanização no mundo contemporâneo e os problemas ambientais**. Caderno de Graduação-Ciências Humanas e Sociais-UNIT, v. 2, n. 2, p. 197-207, 2014.

SILVEIRA, A.L.L. Apostila: **Drenagem Urbana: aspectos de gestão**. 1ª (ed.) Cursos preparado por: Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Fundo Setorial de Recursos Hídricos (CNPq), 2002.

SILVEIRA, A.L.L. **Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica**. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1993. p. 35-51.

SOUZA, A.; CLEMENTE, A. **Decisões Financeiras e Análises de Investimentos: Conceitos, técnicas e aplicações**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008. 186p.

TASSI, R.; TASSINARI, L. C. da S.; PICCILLI, D. G. A.; PERSCH, C. G. **Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 139-154, jan./mar. 2014.

TECNOTRI. **Cisterna Vertical Modular 1050 Litros. Kit Reúso de Água**. Disponível em: <https://cisternas.tecnotri.com.br/produto/cisterna-vertical-modular-1050-litros-kit-reuso-de-agua/>. Acesso em: 5 nov. 2019.

TOMAZ, Plínio. **Aproveitamento da água da chuva em áreas urbanas para fins não potáveis**. 2009.

TUCCI, C. E. **Urbanização e Recursos Hídricos**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Águas do Brasil. Análise estratégica. São Paulo, 2007.

URBONAS, B.; STAHR P. **Stormwater: best management, practices and detention for water quality, drainage, and CSO management**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1993.

USDoD – United States Department of Defense, **Unified Facilities Criteria (UFC) Design: Low Impact Development Manual**, USA, 2004.

VANWOERT, N. D.; ROWE, D. B.; ANDRESEN, J. A.; RUGH, C. L.; FERNANDEZ, R. T.; XIAO, L. 2005. **Green Roof Stormwater Retention: Effects of Roof Surface, Slope, and Media Depth**. Journal of Environmental Quality. v. 34, p. 1036-1044.

WILLES, Jorge Alex. **Tecnologias em telhados verdes extensivos: meios de cultura, caracterização hidrológica e sustentabilidade do sistema**. 2014. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

ANEXO A – SIMULAÇÃO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA PELA ENEL

SEM USO DE APARELHO DE AR CONDICIONADO

Banheiro

Qtde.	Descrição	Uso diário	KWh/mês	Custo/mês	Consumo/Total
1	Chuveiro Elétrico	30 minutos	81,00	R\$ 85,05	23,21%
1	Iluminação	5 horas	3,75	R\$ 3,94	1,07%
TOTAL			84,75	R\$ 88,99	24,28%

Sala

Qtde.	Descrição	Uso diário	KWh/mês	Custo/mês	Consumo/Total
1	Televisão	6 horas	27,00	R\$ 28,35	7,74%
1	Telefone	24 horas	7,20	R\$ 7,56	2,06%
1	Iluminação	5 horas	3,75	R\$ 3,94	1,07%
TOTAL			57,15	R\$ 60,01	10,87%

Lavanderia

Qtde.	Descrição	Uso diário	KWh/mês	Custo/mês	Consumo/Total
1	Iluminação	5 horas	3,75	R\$ 3,94	1,07%
1	Máquina de Lavar	1 hora	30,00	R\$ 31,50	4,30%
TOTAL			33,75	R\$ 35,44	5,37%

3 Quartos

Qtde.	Descrição	Uso diário	KWh/mês	Custo/mês	Consumo/Total
3	Ventilador	8 horas	28,80	R\$ 30,24	4,13%
3	Iluminação	5 horas	11,25	R\$ 11,81	3,22%
3	Notebook	8 horas	28,80	R\$ 30,24	8,25%
TOTAL			68,85	R\$ 72,29	15,60%

Cozinha

Qtde.	Descrição	Uso diário	KWh/mês	Custo/mês	Consumo/Total
1	Microondas	20 minutos	14,00	R\$ 14,70	4,01%
1	Geladeira	24 horas	117,00	R\$ 122,85	33,52%
1	Sanduicheira	10 minutos	4,25	R\$ 4,46	1,22%
1	Liquidificador	10 minutos	1,75	R\$ 1,84	0,50%
1	Processador	10 minutos	2,30	R\$ 2,42	0,66%
1	Torradeira	10 minutos	4,00	R\$ 4,20	1,15%
1	Cafeteira	20 minutos	6,00	R\$ 6,30	1,72%
1	Batedeira	1 minuto	0,05	R\$ 0,053	0,01%
1	Iluminação	5 horas	3,75	R\$ 3,94	1,07%
TOTAL			153,10	R\$ 160,76	43,87%

CONSUMO TOTAL	
349,00 kWh	R\$ 366,45

COM O USO DE APARELHO DE AR CONDICIONADO

Banheiro

Quantidade	Descrição	Uso diário	KWh/mês	Custo/mês	Consumo/Total
1	Chuveiro Elétrico	30 minutos	81,00	R\$ 85,05	13,81%
1	Iluminação	5 horas	3,75	R\$ 3,94	0,64%
TOTAL			84,75	R\$ 88,99	14,45%

Sala

Quantidade	Descrição	Uso diário	KWh/mês	Custo/mês	Consumo/Total
1	Televisão	6 horas	27,00	R\$ 28,35	4,60%
1	Telefone	24 horas	7,20	R\$ 7,56	1,23%
1	Iluminação	5 horas	3,75	R\$ 3,94	0,64%
TOTAL			57,15	R\$ 60,01	6,47%

Lavanderia

Quantidade	Descrição	Uso diário	KWh/mês	Custo/mês	Consumo/Total
1	Iluminação	5 horas	3,75	R\$ 3,94	0,64%
1	Máquina de Lavar	1 hora	30,00	R\$ 31,50	2,56%
TOTAL			33,75	R\$ 35,44	3,20%

3 Quartos

Quantidade	Descrição	Uso diário	KWh/mês	Custo/mês	Consumo/Total
3	Ventilador	8 horas	28,80	R\$ 30,24	1,92%
3	Iluminação	5 horas	11,25	R\$ 11,81	4,91%
3	Notebook	8 horas	28,80	R\$ 30,24	42,96%
TOTAL			68,85	R\$ 72,29	49,79%

Cozinha

Quantidade	Descrição	Uso diário	KWh/mês	Custo/mês	Consumo/Total
1	Microondas	20 minutos	14,00	R\$ 14,70	2,39%
1	Geladeira	24 horas	117,00	R\$ 122,85	19,95%
1	Sanduicheira	10 minutos	4,25	R\$ 4,46	0,72%
1	Liquidificador	10 minutos	1,75	R\$ 1,84	0,30%
1	Processador	10 minutos	2,30	R\$ 2,42	0,39%
1	Torradeira	10 minutos	4,00	R\$ 4,20	0,68%
1	Cafeteira	20 minutos	6,00	R\$ 6,30	1,02%
1	Batedeira	1 minuto	0,05	R\$ 0,053	0,01%
1	Iluminação	5 horas	3,75	R\$ 3,94	0,64%
TOTAL			153,10	R\$ 160,76	26,10%

CONSUMO TOTAL	
586,60 kWh	R\$ 615,93