



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

RAYZA CECÍLIA CHAVES DE SIQUEIRA

**DIMENSIONAMENTO PRELIMINAR DA DEMANDA
HÍDRICA DE IRRIGAÇÃO EM VEGETAÇÃO DE TELHADO
VERDE – ESTUDO DE CASO EM RECIFE/PE**

RECIFE, 2016

RAYZA CECÍLIA CHAVES DE SIQUEIRA

**DIMENSIONAMENTO PRELIMINAR DA DEMANDA HÍDRICA DE IRRIGAÇÃO
EM VEGETAÇÃO DE TELHADO VERDE – ESTUDO DE CASO EM RECIFE/PE**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: recursos hídricos

Orientador: Prof. Dr. Anderson Luiz Ribeiro de Paiva

RECIFE, 2016

Catálogo na fonte
Bibliotecária Valdicéa Alves, CRB-4 / 1260

S619d . Rayza Cecília chaves de

Dimensionamento preliminar da demanda hídrica de irrigação Em
vegetação de telhado verde – estudo de caso em Recife/PE. / Rayza Cecília
chaves de Siqueira. - 2016.

81folhas, Ils.; Tab. e Abr.

Orientador: Prof. Dr. Anderson Luiz Ribeiro de Paiva.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Graduação em Engenharia Civil, 2016.

Inclui Referências.

1. Engenharia Civil. 2. Telhado Verde. 3 Drenagem Sustentável.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
COORDENAÇÃO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ATA DA DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO PARA CONCESSÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL

CANDIDATO(S): 1 – RAYZA CECÍLIA CHAVES DE SIQUEIRA

BANCA EXAMINADORA:

Orientador: ANDERSON LUIZ RIBEIRO DE PAIVA

Examinador 1: LEIDJANE MARIA MACIEL DE OLIVEIRA

Examinador 2: SYLVANA MELO DOS SANTOS

TÍTULO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: DIMENSIONAMENTO PRELIMINAR DA DEMANDA HÍDRICA DE IRRIGAÇÃO EM VEGETAÇÃO DE TELHADO VERDE – ESTUDO DE CASO EM RECIFE.

LOCAL: RECIFE/PE

DATA: 20 / 12 / 2016 **HORÁRIO DE INÍCIO:** 14:00.

Em sessão pública, após exposição de cerca de 30 minutos, o(s) candidato(s) foi (foram) arguido(s) oralmente pelos membros da banca com NOTA: 9,5 (deixar 'Exame Final', quando for o caso).

1) () aprovado(s) (nota $\geq 7,0$), pois foi demonstrado suficiência de conhecimento e capacidade de sistematização no tema da monografia e o texto do trabalho aceito.

As revisões observadas pela banca examinadora deverão ser corrigidas e verificadas pelo orientador no prazo máximo de 30 dias (o verso da folha da ata poderá ser utilizado para pontuar revisões).

O trabalho com nota no seguinte intervalo, $3,0 \leq \text{nota} < 7,0$, será reapresentado, gerando-se uma nota ata; sendo o trabalho aprovado na reapresentação, o aluno será considerado aprovado com exame final.

2) () reprovado(s). (nota $< 3,0$)

Na forma regulamentar foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da banca e pelo(s) candidato(s).

Recife, de de 20.....

Orientador:

Avaliador 1:

Avaliador 2:

Candidato 1:

Candidato 2:

“Lute com determinação, abrace a vida com paixão, perca com classe e vença com ousadia. Porque o mundo pertence a quem se atreve e a vida é muito para ser insignificante”. Charles Chaplin.

AGRADECIMENTOS

À Deus, que me deu forças para continuar e me mostrou que Seus planos são maiores que meus sonhos.

Aos meus pais, Otaildo Mendes de Siqueira e Maria de Fátima Simão Chaves, que com muito carinho, dedicação e paciência me mostraram o sentido da coragem e da luta, me motivando a chegar até aqui.

Aos meus irmãos e familiares que acompanharam minha caminhada e sempre acreditaram que tudo isso seria possível.

Ao meu namorado, Arthur de Mattos Cavalcanti, pelo apoio, amor, carinho, companheirismo e paciência. Por estar ao meu lado nas alegrias e nos momentos de tristeza e cansaço.

Aos meus amigos, Mariana Prysthon Moraes, Juliana Maria Matos, Rodrigo de Souza Netto, Laís Mazullo, Marcela Veiga, Hugo Vinícius e outros, que dividiram cada momento desta jornada comigo e deram sentido a cada experiência vivida.

Aos engenheiros da Techne Engenheiros e Consultores, Leandro Cavalcanti e Fabianny Bezerra, que sempre com muita disposição me esclareceram dúvidas e foram fundamentais para a finalização deste estudo.

SIQUEIRA, R. C. C. (2016). Dimensionamento preliminar da demanda hídrica de irrigação em vegetação de telhado verde – Estudo de caso em Recife/PE. Trabalho de Conclusão do Curso, graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental (DECIV), Centro de Tecnologia e Geociências (CTG), Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Recife / PE.

RESUMO

O crescente processo de urbanização e as modificações ocorridas no uso e ocupação do solo produzem impactos expressivos na qualidade de vida da população nas grandes cidades. Os telhados verdes surgem como uma técnica compensatória em drenagem urbana e ajudam a mitigar e compensar os problemas enfrentados pelo crescimento das cidades. Neste contexto, serão apresentadas as vantagens promovidas pela técnica e sua influência no funcionamento do empresarial Charles Darwin, em Recife/PE, no que concerne ao sistema de reaproveitamento de águas. Para apresentação dos resultados, calculou-se a demanda hídrica de irrigação da cultura característica e sua interferência no balanço hídrico das águas acumuladas no reservatório de reúso. Com baixo coeficiente de escoamento superficial, a cobertura vegetal absorve boa parte da água que precipita e reduz expressivamente o volume de água que escoar. Logo, intervém diretamente no dimensionamento do reservatório, que armazenará a água posteriormente reutilizada para fins não nobres. Este sistema influencia os custos mensais com irrigação do telhado, sendo responsável por parcela relevante do volume utilizado no sistema de microaspersão na irrigação, reduzindo a dependência do fornecimento hídrico por parte da concessionária local.

Palavras-chave: telhado verde, drenagem sustentável, reúso, reservatório.

SIQUEIRA, R. C. C. (2016). Dimensionamento preliminar da demanda hídrica de irrigação em vegetação de telhado verde – Estudo de caso em Recife/PE. Final Course Work, graduation in Civil Engineering, Department of Civil Engineering and Environmental (DECIV), Center of Technology and Geosciences (CTG), Federal University of Pernambuco (UFPE). Recife / PE.

ABSTRACT

The increasing urbanization process and the changes in land use and land cover produce significant impacts on the quality of life of the population in large cities. Green roofs emerge as a compensatory technique in urban drainage and help mitigate and compensate the issues arisen due to urban expansion. In this context, the advantages of this technique in the water reuse system and its influence on the operations at Charles Darwin Business Center in Recife-PE will be presented. To display the results, the hydric demand of Irrigation for the specific crop was calculated, as well as its influence on the hydric balance of the water accumulated in the reuse reservoir. The crop coverage features a low surface runoff coefficient and thus absorbs a fair amount of the stormwater, leading to an expressive reduction of the flowing volume. Therefore, it directly influences the reservoir's design, which stores water that can be later reused for non-noble purposes. Ultimately, this system affects the monthly costs on roof irrigation since it is responsible for a significant portion of the volume used in the micro sprinkler irrigation; thus reducing the dependency of the water supplied by the local concessionaire.

Keywords: green-roof, sustainable drainage, reuse, reservoir.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Telhado verde extensivo.....	19
Figura 2 - Telhado verde intensivo.	20
Figura 3 - Telhado verde semi – intensivo.....	20
Figura 4 - Componentes construtivos de um telhado verde.....	22
Figura 5 - Edifício Conde Matarazzo.....	26
Figura 6 - Telhado Verde em prédio comercial da Avenida Champs Elysées em Paris/França.....	27
Figura 7 - Telhado verde da Livraria de Vancouver.....	28
Figura 8 - Consumo de água por atividade no mundo.	33
Figura 9 - Distribuição do consumo de água.	35
Figura 10 - Variação do Kc de acordo com o estágio de desenvolvimento da planta. ...	37
Figura 11 - Perspectiva do empreendimento.....	40
Figura 12 - Localização da área de estudo – Empresarial Charles Darwin, Recife/PE. .	41
Figura 13 - Gráfico climático do Recife/PE.....	43
Figura 14 - Locais de implantação do telhado verde.	44
Figura 15 - Modelo Construtivo do telhado verde do Charles Darwin.....	44
Figura 16 - Planta Baixa do telhado verde.....	45
Figura 17 - Parcela do teto verde com tipos de vegetação.....	49
Figura 18 - Espécies Vegetais do telhado verde Charles Darwin.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Volumes armazenado e descartado por coberturas verdes em função de alguns aspectos estudados.	32
Tabela 2 - Tipos de utilização das águas pluviais.	34
Tabela 3 - Dados CENSO Demográfico - características da população e domicílios.	42
Tabela 4 - Precipitações médias mensais da região do Recife.	48
Tabela 5 - Dados históricos para a cidade do Recife com base na Estação Curado.	50
Tabela 6 - Duração Máxima de Insolação Diária em Hora, nos vários meses do ano e latitudes de 10°N e 40°S. Os valores correspondem ao 15° dia de cada mês.	51
Tabela 7 - Valores de Radiação no topo da atmosfera (R_a) em $Mj.m^2/dia$ para latitudes sul.	51
Tabela 8 - Quantitativo estimado de ar-condicionados.	54
Tabela 9 - Contribuição hídrica mensal do sistema de refrigeração.	55
Tabela 10 - Precipitação efetiva mensal para a região do Recife.	58
Tabela 11 - Evapotranspiração potencial no Recife.	59
Tabela 12 - Cálculo da Evapotranspiração real.	60
Tabela 13 - Demanda hídrica de irrigação mensal para um coeficiente de cultura $K_c = 0,94$.	61
Tabela 14 - Demanda hídrica de irrigação mensal para um coeficiente de cultura $K_c = 0,70$.	62
Tabela 15 - Dimensionamento do reservatório inferior pelo método de Rippl para $K_c=0,7$.	64
Tabela 16 - Dimensionamento do reservatório inferior pelo método de Rippl para $K_c=0,94$.	64
Tabela 17 - Análise iterativa para o volume do reservatório com $K_c=0,70$.	66
Tabela 18 - Análise iterativa para o volume do reservatório com $K_c=0,94$.	67
Tabela 19 - Percentagem de redução dos custos e das propriedades geométricas do reservatório para $K_c=0,7$.	67
Tabela 20 - Volume extra necessário nos meses secos para a segunda configuração.	68

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Distribuição mensal de chuvas na cidade do Recife.....	47
Gráfico 2 - Apresentação da variação das demandas hídricas mensais para $K_c = 0,7$. ..	63

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Critérios para classificação dos diferentes tipos de telhado verde.....	21
Quadro 2 - Capacidade de retenção de água em função do sistema de cobertura verde.	30
Quadro 3 - Coeficiente de Runoff do Concreto.	56

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	5
RESUMO	6
ABSTRACT	7
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS	9
LISTA DE GRÁFICOS	10
LISTA DE QUADROS.....	10
SUMÁRIO	11
1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Justificativa e motivação.....	14
1.2 Objetivos gerais e específicos.....	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 Contexto histórico.....	16
2.2 A técnica do telhado verde	17
2.3 Classificação dos telhados verdes.....	18
2.3.1 Telhados verdes extensivos	18
2.3.2 Telhados verdes intensivos	19
2.3.3 Telhados verdes semi-intensivos	20
2.4 Componentes do sistema construtivo	21
2.5 Vantagens do telhado verde.....	23
2.5.1 Eficiência energética.....	24
2.5.2 Vida útil	25
2.5.3 Poluição atmosférica e redução das ilhas de calor.....	25
2.5.4 Estética.....	27
2.5.5 Telhado verde como técnica compensatória em drenagem urbana	28
2.6 Definição de demanda hídrica de irrigação de uma cultura	35
2.6.1 Precipitação Efetiva.....	35
2.6.2 Evapotranspiração.....	36
2.6.3 Demanda Hídrica de Irrigação.....	39
3 MATERIAIS E MÉTODOS	40

3.1	Área de estudo	40
3.2	Descrição da estrutura do telhado verde em estudo.....	43
3.3	Cálculo da demanda hídrica	47
3.4	Dimensionamento do reservatório inferior	52
3.5	Custos das demandas de irrigação	56
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71

1 INTRODUÇÃO

O crescente processo de urbanização e as modificações ocorridas no uso e ocupação do solo produzem impactos expressivos na qualidade de vida da população nas grandes cidades. O aumento da frequência e do nível de inundações, os prejuízos nos tráfegos de pedestres e veículos bem como o aumento do volume de materiais sólidos nos corpos receptores são algumas consequências do processo desordenado e sem planejamento da expansão das cidades.

A ampliação de áreas impermeabilizadas implica na redução das taxas de infiltração, levando à redução da recarga dos aquíferos e à intensificação do escoamento superficial. A drenagem urbana tradicional visa drenar a água das precipitações o mais rápido possível para jusante, o que transfere a inundação de um ponto para outro da bacia hidrográfica. Porém, as novas técnicas de drenagem urbana sustentável, como é o caso do Telhado Verde, buscam intensificar o processo de infiltração e retardar o escoamento superficial.

Os telhados verdes são sistemas construtivos munidos de camadas de impermeabilização e drenagem adequadas, nos quais se aplica uma vegetação indicada sobre a cobertura de edificações. Segundo Parizotto Filho (2010), a incorporação de vegetação nas superfícies construídas apresenta-se oportuna no processo de requalificação ambiental das cidades, possibilitando o aumento da proporção de áreas verdes nos centros urbanos, uma tarefa difícil devido à escassez de espaços livres e aos processos de especulação imobiliária.

1.1 Justificativa e motivação

Na busca por compensar os efeitos da urbanização e fazer com que o problema de inundações não seja transferido de uma região para outra, mas sim administrado, o telhado verde age conforme a lógica da drenagem sustentável. Neste sistema, a água precipitada pode seguir os seguintes trajetos: parte que incide no telhado é interceptada pela vegetação, parte infiltra no solo e parte retorna ao sistema pelo processo de evapotranspiração.

Desta forma, o telhado verde pode reduzir a ocorrência de inundações, alagamentos e processos erosivos, uma vez que os picos de escoamentos resultantes de chuvas intensas podem diminuir sensivelmente. A EPA (*Environmental Protection Agency*) considera que a principal função do telhado verde é absorver volumes de água da chuva e liberá-los em um ritmo reduzido e controlado.

Ferreira & Moruzzi (2007) ressaltam que esta tecnologia confere melhoria à qualidade do ar, à medida que atua como um filtro contra a poluição, retendo parte significativa da poeira, prevenindo contra o aumento da temperatura e contribuindo com a redução do efeito estufa pela absorção do CO₂. A retirada deste gás do ar e a absorção da radiação se dão através do processo de fotossíntese, de modo a propiciar conforto térmico e economia energética quando somados à espessura da cobertura vegetal.

O aproveitamento da água da chuva, que compreende, basicamente, a coleta da água pluvial através de áreas de captação (telhados, pisos e outros), o direcionamento através de calhas e condutores e o armazenamento em reservatórios de acumulação (ANA, 2005), mitiga as perturbações introduzidas no ciclo hidrológico pelas ações humanas.

A análise da realidade do país no que tange a deficiente infraestrutura de drenagem urbana motiva o estudo e o desenvolvimento de novas técnicas que visem remediar o problema na sua origem. O aprimoramento de métodos sustentáveis, como o telhado verde, se torna imperativa em cidades como Recife (Pernambuco – Brasil), que sofre anualmente com problemas de enchentes e alagamentos principalmente nas estações chuvosas.

Desta forma, busca-se fazer uma abordagem sobre a implantação da técnica, realizando um estudo de caso que possa apresentar a forma com que esta estrutura influencia a disposição das águas no local. Concomitantemente, o dimensionamento do reservatório inferior do

empreendimento (responsável pelo armazenamento das águas de reuso) poderá retratar a interferência desta cobertura vegetal na sua configuração geométrica.

Será pertinente expor as vantagens do método de modo a se propagar a ideia e preocupação frente aos reajustes de infraestrutura de que a cidade necessita. Do mesmo modo, a intenção em reverter e amenizar o quadro de drenagem deficiente promove o estabelecimento de normas que visam o controle dos efeitos provocados pelas grandes precipitações em áreas de expressiva influência antrópica. É o caso da Lei nº 18.112/2015, sancionada na cidade do Recife, que motiva a disseminação da execução da estratégia sustentável abordada no presente estudo.

1.2 Objetivos gerais e específicos

Apresentar as vantagens de uma cobertura vegetal e analisar a influência de um telhado verde no dimensionamento do reservatório inferior de reúso de águas pluviais a partir da sua demanda hídrica de irrigação.

Como objetivos específicos, pode-se listar:

- Apresentar as vantagens de uma cobertura vegetal e sua influência na configuração da infraestrutura urbana;
- Dimensionar preliminarmente um reservatório inferior de reúso de águas, considerando as contribuições do sistema de refrigeração e de águas pluviais provenientes da cobertura vegetal;
- Determinar a demanda hídrica de irrigação para as culturas características do telhado, indicando os respectivos custos com água e energia;

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Contexto histórico

Os registros históricos mostram que o telhado verde é uma técnica construtiva antiga. Estima-se que o registro mais antigo da implantação de coberturas verdes acima de áreas construídas é o Jardim Suspenso da Babilônia. Inicialmente, a técnica do telhado verde era concebida com funções meramente estéticas, mas foi sendo aprimorada como instrumento funcional para a civilização com o tempo. Posteriormente, os telhados verdes foram amplamente difundidos no Império Romano onde árvores eram cultivadas nas coberturas; no período renascentista na Itália, pré-colombiano no México, na Índia entre os séculos XVI e XVII e em algumas cidades da Espanha, na França a partir do século XVIII e na Escandinávia no início do século XIX (ARAÚJO, 2007). Na Escandinávia, os telhados eram cobertos com uma mistura de terra e grama como forma de isolamento térmico. Abaixo dessa camada eram colocadas pesadas vigas de madeira intercaladas com cascas de árvores para impermeabilização do telhado (RODRIGUEZ, 2006).

As pesquisas desenvolvidas para aprimoramento do processo do telhado verde iniciaram-se na Alemanha e foram sendo disseminadas pela Europa na década de 70. Os estudos envolviam a aplicação da cobertura verde, o desenvolvimento do habitat ecológico em áreas urbanas, o balanço energético, sistemas de drenagem e impermeabilização, planejamento e dimensionamento.

A EPA (1998) acredita que a melhoria na qualidade do ar e da água, bem como a redução na necessidade em se utilizar sistemas de aquecimento e refrigeração nas edificações confere à técnica do telhado verde uma importante contribuição para o desenvolvimento sustentável das cidades. No Brasil, a prática do telhado verde ainda é pouco difundida, e a implantação dessa alternativa tem sido pouco explorada para fins hídricos.

O surgimento de novas leis de incentivo por parte do governo é justificado pela pequena disseminação da técnica no país. O primeiro projeto de telhado verde implantado no Brasil foi em 1936, prédio do MEC construído por Roberto Burle Marx. Em sequência, em 1988, no Banco Safra em São Paulo e em 1992, a arquiteta Rosa Grená Kliass e Jamil Kfourri projetaram os jardins do Vale do Anhangabaú em São Paulo (TOMAZ, 2005). Segundo Rola (2005), a alternativa do telhado verde se mostra conveniente e benéfica na tentativa de

interferir positivamente nos problemas relacionados não só às ilhas de calor, mas também à poluição atmosférica. Em São Paulo e no Rio Grande do Sul, já existem empresas especializadas na aplicação e construção de coberturas verdes.

2.2 A técnica do telhado verde

Conforme enunciado anteriormente, os telhados verdes são sistemas construtivos formados por uma cobertura vegetal feita com grama ou plantas e são munidos de camadas de impermeabilização e drenagem adequadas. Esta técnica pode ser instalada na cobertura de edificações com objetivo de proporcionar conforto térmico, acústico e outros benefícios nos ambientes internos e tem função de aumentar as áreas verdes, melhorando o meio ambiente e diminuindo a ilha de calor da região em que se é instalado.

Segundo Tomaz (2008), as coberturas vegetais são geralmente aplicadas em telhados praticamente planos, com inclinação de aproximadamente 5° cujo intuito é permitir o escoamento não muito rápido da água. Para telhados acima de 20° algumas outras providências deverão ser tomadas a fim de deter o fluxo de água, como barreiras ou outras estruturas.

É preciso, porém, atentar para alguns detalhes no processo de instalação e manutenção desta técnica. Faz-se necessário instalar uma estrutura específica na cobertura do empreendimento que vai receber o telhado verde. Por exemplo, é imprescindível fazer a impermeabilização em casos em que o telhado é simplesmente uma laje. Se for de telhas cerâmicas, é preciso instalar placas de compensado após a retirada delas, para que as placas sirvam como base para a cobertura vegetal, onde serão colocados a terra e o adubo para crescimento das plantas. Alguns detalhes construtivos são empregados: as mantas onduladas impedem que o substrato escorra, as mantas de impermeabilização evitam as infiltrações na casa e os dutos de irrigação e drenagem compõe também o projeto do telhado verde. Em se tratando da manutenção desta técnica, é preciso manter uma frequência de uma ou duas vezes ao ano a depender do modelo adotado, preocupando-se em verificar a presença de espécies vegetais indesejadas, analisar o comportamento das plantas, a necessidade de adubo e poda, entre outros.

De acordo com Araújo (2007), é preferível utilizar plantas locais com maior resistência aos períodos de estiagem e às chuvas, exigindo, por isso, rega e poda reduzidas. Assemelhando-se

a um jardim comum, as plantas de pequeno porte e crescimento lento facilitam os cuidados com a manutenção do telhado verde.

2.3 Classificação dos telhados verdes

Segundo a International Green Roof Association (IGRA, 2016), os telhados verdes podem ser classificados em três tipos: extensivos, intensivos e semi-intensivos, e são assim convencionados de acordo com a espessura do substrato e com o porte das plantas.

2.3.1 Telhados verdes extensivos

Os telhados verdes extensivos possuem uma configuração que se assemelha à de um jardim: são formados por vegetações de pequeno porte plantadas uniformemente sobre o telhado. Apresentam como principal característica o cultivo de plantas rasteiras de pequeno porte e necessitam de um volume de água menor e pouca manutenção. Eles possuem um impacto menor de sobrecarga na cobertura, nos pilares e na fundação. Desta forma, conforme enunciado por Getter & Rowe, (2006), eles podem ser suportados por estruturas mais leves, mesmo em condição saturada, e exigem pouca ou nenhuma manutenção. Algumas vantagens deste tipo de cobertura verde são listadas por Peck & Kuhn (2003) e por Tolderlund (2010): baixo peso, baixa manutenção, pouca necessidade de irrigação especializada, baixo capital de investimento, e adequação a grandes áreas. A profundidade média do substrato para esta categoria chega a 20 cm, ou seja, não comportam raízes longas, (OBERNDORFER *et al.*, 2007). Segundo o Departamento de Projeto e Construção da cidade de Nova Iorque (DDC, 2007), o material vegetal utilizado para implantação das coberturas extensivas é basicamente constituído de espécies resistentes à seca e de baixo crescimento, que conseguem suportar condições quentes e secas. Segundo Minke (2005), eles só suportam movimentações em sua estrutura para manutenção, já que são mais frágeis. A vegetação extensiva tem maiores aplicações e a carga necessária para a estrutura varia de 50 kg/m² a 250 kg/m² (SILVA, 2011). São bem aplicáveis a áreas urbanas.

Um exemplo de telhado verde extensivo pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 - Telhado verde extensivo.



Fonte: Neusiane (2011).

2.3.2 Telhados verdes intensivos

Esta modalidade de cobertura vegetal tem finalidade menos utilitária e mais paisagística e é definida por Bell *et al.* (2008) como jardins de cobertura, ou parque, com quase nenhum limite para os tipos de plantas disponíveis, incluindo grandes árvores e arbustos. Isso justifica o fato de a profundidade média do substrato ser superior a 20 cm (OBERNDORFER *et al.*, 2007). Alguns benefícios desse tipo de telhado verde são apresentados por Tolderlund (2010), como por exemplo: maior diversidade de plantas e biodiversidade, melhores propriedades de gestão de águas pluviais, maior oportunidade de design e maior chance para a variedade, acessibilidade e uso diário. Neste tipo de vegetação, o telhado verde também protege a cobertura da radiação ultravioleta aumentando sua vida útil. Segundo Peck & Kuhn (2003), as desvantagens de telhados intensivos estão relacionadas ao acréscimo de carga devido ao peso no telhado, à necessidade de sistemas de irrigação e drenagem, aos custos de capital e de manutenção mais elevados e aos sistemas e conhecimentos complexos.

Segundo o IGRA (2016), os telhados verdes intensivos comportam plantas de nível médio a grande, o que justifica a necessidade de se desenvolver uma estrutura com maior capacidade de carga, com uma camada de solo que pode chegar a 40 cm e cuja carga prevista varia entre

180 Kg/m² a 500 Kg/m². Segundo Silva (2011), os telhados verdes intensivos requerem maior manutenção e serviço durante o ano, pois o solo pode ter várias espécies de plantas e árvores.

Um exemplo de telhado verde intensivo está ilustrado na Figura 2.

Figura 2 - Telhado verde intensivo.



Fonte: IGRA (2016).

2.3.3 Telhados verdes semi-intensivos

Este tipo de telhado verde reúne característica tanto do telhado verde extensivo como do telhado verde intensivo (Figura 3). De acordo com o Departamento de Projeto e Construção da cidade de Nova Iorque (DDC, 2007), os telhados verdes semi-intensivos possuem uma maior diversidade de plantas quando comparados ao telhado verde extensivo, porém apresentam uma profundidade de solo que não suporta árvores ou arbustos maiores. Desta forma, são chamados de híbridos. Berndtsson (2009) comenta que essas coberturas exigem frequente manutenção incluindo o corte, a rega e a fertilização.

Figura 3 - Telhado verde semi-intensivo.



Fonte: IGRA (2016).

O Quadro 1, disponibilizado no *site* do INCRA, faz um comparativo entre os tipos de telhado verde segundo os itens de manutenção, irrigação, plantas, altura do sistema, peso, custos e uso.

Quadro 1 - Critérios para classificação dos diferentes tipos de telhado verde.

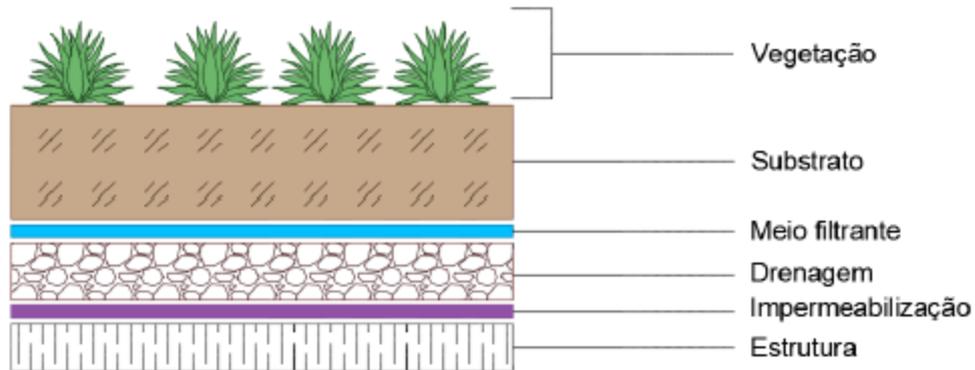
Itens	Telhado Verde Extensivo	Telhado Verde Semi-Intensivo	Telhado Verde Intensivo
Manutenção	Baixa	Periodicamente	Alta
Irrigação	Rara	Periodicamente	Regularmente
Tipos de Plantas	Musgo, Herbáceas e Gramíneas.	Gramíneas, Herbáceas e Arbustos.	Gramado Permanente, Árvores e Arbustos.
Altura do sistema 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 Projetado	Parque como um Jardim

Fonte: IGRA (International Green Roof Association). www.igra-word.com (2016) – Site Traduzido pelo Autor.

2.4 Componentes do sistema construtivo

A estrutura do telhado verde é composta por camadas que executam funções colaborativas a fim de fornecer um bom desempenho técnico e estético. A Figura 4 mostra a disposição destas camadas.

Figura 4 - Componentes construtivos de um telhado verde.



Fonte: Mattos (2015).

A função da camada impermeabilizante é proteger a laje contra possíveis infiltrações. Segundo Liu (2004), o componente mais importante de qualquer sistema de cobertura é a membrana de impermeabilização, uma vez que ela impede a penetração de água para dentro do edifício, sendo, por isso, necessário que sua estrutura comporte um material capaz de suportar a pressão hidrostática por longos períodos de tempo. De acordo com Parizotto Filho (2010), se a camada de impermeabilização não possuir agentes químicos de proteção antirraízes, faz-se necessário dispor de uma camada adicional denominada de barreira antirraízes. Tolderlund (2010) discorre que a durabilidade da membrana é um fator importante a ser considerado em climas semiáridos e áridos, durante tempestades onde uma grande quantidade de precipitação pode ocorrer ao longo de um curto período de tempo.

Com o objetivo de remover o excesso de água quando o substrato fica saturado e evitar a sobrecarga do telhado, a camada de drenagem é instalada sobre a membrana de impermeabilização. Ela pode ser feita de argila expandida ou pequenos pedaços de pedra tais como seixo rolado, de 7 a 10 centímetros de espessura (MORAIS & RORIZ, 2005).

Normalmente o meio filtrante é composto por material geotêxtil com objetivo de impedir a infiltração de partículas finas do solo para a camada de drenagem, de forma que atua como uma barreira protetora para evitar o seu entupimento e consequente inutilização.

À camada do substrato está incumbida a função de apoiar o crescimento da vegetação. De acordo com Parizotto Filho (2010), espera-se que ele proporcione uma firme ancoragem das raízes a fim de assegurar o crescimento adequado das plantas e fornecendo os nutrientes essenciais. O substrato é geralmente composto por matéria orgânica, matéria inorgânica, água

e ar, cujas proporções do total poderão variar conforme o peso, a seleção das plantas, a profundidade do solo ou com a retenção de água.

A seleção do tipo de vegetação de acordo com a estrutura que irá suportá-lo, o ambiente em que será inserido, entre outros, é fundamental. Isto é justificado pelas condições às quais o telhado verde pode ficar exposto, de modo que alguns fatores como a localização, o vento, a exposição ao sol, chuva, poluição, altura de prédio e outros são determinantes para a decisão sobre que tipo de planta utilizar. Tolderlund (2010) comenta que a seleção das plantas é o componente mais distintivo de um telhado verde.

2.5 Vantagens do telhado verde

As áreas verdes contribuem com algumas melhorias tanto para o local no qual é instalado como para o seu entorno, conforme apresentado a seguir. Mock (2005) afirma que para se obter um ambiente sustentável com capacidade de se oferecer o máximo de benefícios à população, é necessário conquistar o apoio da comunidade e uma eficiente gestão das áreas verdes urbanas.

Seguindo a lógica de Wolf (2005), é preciso criar leis que viabilizem a demonstração das vantagens que os bosques urbanos proporcionam. É o caso da Lei nº 18.112 (RECIFE, 2015) que entrou em vigor na cidade do Recife e visa melhoria da qualidade ambiental das edificações.

As características da cobertura do solo como a densidade de construções e a distribuição de áreas verdes no espaço urbano influenciam diretamente na temperatura da superfície e no escoamento das águas pluviais. Este último, ocasionado devido à diminuição da infiltração provocada pela impermeabilização de grandes áreas, principalmente em períodos de maior precipitação (FENDRICH & IWASA, 1998). Segundo Nucci (2001), a disposição de áreas verdes e sua quantificação podem ser utilizadas como parâmetro avaliador da qualidade ambiental em áreas urbanas. Para Junior & Amorim (2009) é necessário que haja uma regulamentação e direcionamento das formas de ocupações urbanas, de modo que o poder público possa intervir através de alguns mecanismos como a utilização do plano diretor municipal, o zoneamento urbano e a lei de uso e ocupação do solo.

Para Freitas (2005), quando o adensamento urbano se desenvolve em paralelo à ideia de sustentabilidade ambiental o ambiente urbano não sofre graves consequências. Isso mostra a necessidade em se implantar uma maior disposição de áreas vegetadas, que desempenham um importante papel na infiltração das águas pluviais e na manutenção de condições climáticas favoráveis, e promover um maior espaçamento entre as edificações, a fim de permitir uma maior permeabilidade do vento.

2.5.1 Eficiência energética

A propagação do calor para o interior da construção é reduzida com o telhado verde a partir do momento em que esta cobertura vegetal se encarrega de absorver o calor mais expressivamente quando comparado aos sistemas convencionais. Segundo Lamberts, Dutra & Pereira (1997), entende-se por eficiência energética a realização de um serviço com baixo dispêndio de energia. Isso leva a concluir que um edifício é considerado mais eficiente quando comparado a outro se oferece as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia.

Catuzzo (2013) afirma que a cobertura verde contribui para a redução do uso de energia, de modo que amplifica o conforto térmico no interior de edifícios, viabilizando a redução no uso de equipamentos como ar-condicionado. Ainda segundo o mesmo autor, as áreas verdes têm potencial de absorver cerca de 30% da luz irradiada pelo sol. O que justifica isso é que parte da energia é retida pelas plantas através da fotossíntese e outra quantidade de calor menos expressiva é emitida de novo para a atmosfera. Em contrapartida, o concreto em lajes recebe a energia solar, é aquecido e emite o calor de volta para a atmosfera, contribuindo ainda mais para o aumento da temperatura no entorno da estrutura.

Spangenberg (2004) também se utiliza da mesma afirmativa, expressando a ideia de que há um aumento no conforto térmico dos moradores, promovendo a redução na utilização de ar-condicionado e, conseqüentemente, no consumo de energia. Ele afirma que o telhado verde é eficiente na redução da temperatura das coberturas e que os principais benefícios da vegetação em climas quentes são os de reduzir a radiação solar e de diminuir a temperatura do ar devido ao sombreamento e evapotranspiração.

A ideia de reabilitar edifícios e espaços dando novas funções urbanas e ambientais às edificações torna o uso das coberturas verdes uma eficiente possibilidade de regeneração para

a atmosfera que se tornam “pequenos pulmões” por criarem corredores verdes em meio das grandes muralhas de pedras das cidades (VILELA, 2005).

A eficiência energética está diretamente relacionada às questões econômicas, uma vez que o conforto térmico interno às edificações promove a redução da energia residencial consumida. Com esta filosofia, reduz-se a demanda por geração de energia associada às matrizes energéticas fornecidas pelo país.

2.5.2 Vida útil

A cobertura pode ser considerada como principal elemento exposto ao processo de trocas térmicas entre o interior e o exterior da construção, já que ficam submetidos aos efeitos do clima que, com a radiação solar, as perdas de calor à noite e as chuvas, sofrem mais do que qualquer outra parte da edificação.

A aplicação da cobertura verde sobre uma cobertura convencional amplifica a vida útil do empreendimento. Ao homogeneizar o gradiente de temperatura ao longo do dia sobre a cobertura, a aplicação de telhados verdes reduz consideravelmente o desgaste e a formação de fissuras na membrana, que podem ocorrer devido aos trabalhos de expansão e contração térmica. As infiltrações são evitadas com a escolha correta do sistema de impermeabilização em conjunto com o tipo de vegetação a ser cultivado - para plantas lenhosas e gramíneas, considerar o uso de sistemas de impermeabilização com garantia anti-raiz. Segundo Abreu (2009), os telhados verdes promovem a redução dos efeitos danosos dos raios ultravioletas, dos extremos de temperatura e do vento.

Materiais usados na construção civil armazenam radiação solar e reemitem essa radiação na forma de calor, tornando as cidades até 17° C mais quentes. O acúmulo desse calor durante o dia, devido às propriedades de absorção dos materiais utilizados na construção, compromete a durabilidade e desgaste dos mesmos reduzindo conseqüentemente a vida útil da edificação (PIERGILI, 2007).

2.5.3 Poluição atmosférica e redução das ilhas de calor

Segundo Leal, Farias & Araújo (2008), o aumento crescente da emissão de poluentes atmosféricos tem sido originado pelo desenvolvimento industrial e urbano. O acréscimo das concentrações atmosféricas destas substâncias, juntamente com a sua deposição no solo, nos vegetais e nos materiais pode vir a comprometer a produção agrícola, gerar danos nas

florestas, degradação de construções e obras de arte e, de uma forma geral, originar desequilíbrios nos ecossistemas.

De acordo com Ferreira & Moruzzi (2007), a tecnologia do telhado verde empregada proporciona uma melhoria na qualidade do ar à medida que atua como um filtro contra a poluição, retendo parte significativa da poeira, e reduzindo a ação do efeito estufa pela absorção do CO₂. A vegetação absorve as substâncias tóxicas e a libera oxigênio na atmosfera.

Segundo Catuzzo (2013), o telhado verde se torna um instrumento interessante na tentativa de se reduzir os impactos das ilhas de calor. Neste estudo, ele fez o comparativo entre dois prédios situados na própria capital paulista, com distância aproximada de 6 km, em que o diferencial entre eles era a cobertura: um dispunha de área verde (telhado verde intensivo) e outro apresentava laje de concreto. Desta forma, verificou-se que a temperatura na cobertura do edifício com jardim (Edifício Conde Matarazzo, como mostra a Figura 5) ficou até 5,3°C mais baixa, além de ter tido um ganho de 15,7% em relação à umidade relativa do ar quando comparado ao telhado de concreto do Edifício Mercantil/Finasa. Nos dias mais quentes o telhado verde apresentou um aquecimento inferior justificado pela parcela significativa de radiação solar que é absorvida e refletida pela vegetação. Assim, há um atraso no aquecimento da temperatura do ar e uma manutenção da umidade relativa do ar em valores superiores.

Figura 5 - Edifício Conde Matarazzo.



Fonte: Catuzzo (2013).

De acordo com o mesmo autor, há uma elevação de 10°C na temperatura do centro da cidade de São Paulo no verão como consequência da ilha de calor existente no local. Segundo ele, o aquecimento mais expressivo desta área quando comparado ao de outras regiões deve-se à concentração de concreto, aos pavimentos e à grande circulação de veículos.

Recentemente alguns locais importantes vêm aderindo a esta prática sustentável, como é o caso da França, da cidade dinamarquesa de Copenhague e a canadense Toronto, que aprovaram leis concernentes aos telhados verdes. Como exemplo recente aqui no Brasil, o ecotelhado passa a ser obrigatório para prédios residenciais com mais de 4 pavimentos na cidade do Recife, com a definição da Lei nº 18.112 / 2015 (RECIFE, 2015).

2.5.4 Estética

É possível tornar a paisagem de grandes centros urbanos mais suaves quando se dispõe de mais áreas verdes. O aumento no número de espaços assim promove uma grande melhoria na qualidade de vida da população e ainda traz benefícios estéticos. À exemplo de muitas cidades europeias como Paris (Figura 6), os investimentos em áreas verdes são traduzidos pelo embelezamento da cidade, melhoria da qualidade de vida da população e atração de pessoas para os espaços verdes que se tornam pontos turísticos.

Figura 6 - Telhado Verde em prédio comercial da Avenida Champs Elysées em Paris/França.



Fonte: O Autor.

Um bom exemplo de telhado verde que trouxe benefício estético é o da Livraria Pública de Vancouver (Figura 7), que foi construída em 1995 e idealizada pelos arquitetos Moshe Safdie, Richard Archambault and Barry Downs. Possui um telhado verde do tipo semi-intensivo com declividade de 1,5% e 28000 pés quadrados, o que equivale a, aproximadamente, 2600 m².

Figura 7 - Telhado verde da Livraria de Vancouver.



Fonte: Velazquez (2008).

2.5.5 Telhado verde como técnica compensatória em drenagem urbana

Com o avanço da urbanização, houve um aumento no número de áreas impermeabilizadas, reduzindo, assim, a infiltração da água pluvial no solo. Conseqüentemente, a taxa de recarga para os aquíferos é diminuída e ocorre a minimização do escoamento de base. Assim, o escoamento superficial é intensificado, promovendo o aumento da frequência e da magnitude dos picos do hidrograma, levando à ocorrência de enchentes e, frequentemente, de inundações.

Com isso, muitos sistemas de drenagem precisaram de ampliação para comportar o acréscimo de água, exigindo a troca de galerias e o alargamento de rios, por exemplo. Com o crescimento constante, as obras de drenagem precisam de manutenções e reparos frequentes, ficando cada vez mais caras e insustentáveis economicamente.

O modo clássico da realização da drenagem urbana visa remover as águas pluviais para jusante. Para isto, utilizam-se obras destinadas a conduzir de maneira mais rápida possível as águas acumuladas em áreas julgadas importantes e transferi-las para outras áreas ou para o futuro. Este conceito converge à preocupação com o controle do escoamento na própria calha do curso d'água, não se atentando muito à geração do escoamento nas superfícies urbanizadas. A drenagem sustentável busca trabalhar de forma integrada as esferas social, legal, institucional e tecnológica, de modo a não fazer esta contribuição à jusante e a trabalhar as medidas compensatórias ao efeito da urbanização. O objetivo é evitar a intensificação das cheias, buscando o reequilíbrio dos ciclos da água.

Desta forma, os sistemas de drenagem sustentáveis fornecem uma alternativa para canalizar as águas superficiais de forma direta e propõem a diminuição das taxas de fluxo, aumentando a capacidade de armazenamento de água.

Para minimizar esta situação, foram criadas técnicas alternativas de drenagem com o objetivo de anular ou, ao menos, mitigar os efeitos da urbanização. O intuito é aumentar a infiltração da água da chuva no solo e retardar o escoamento superficial da água de forma a reduzir a quantidade de água nas galerias e rios durante as chuvas mais fortes, compensando os efeitos negativos da urbanização. A técnica do telhado verde surge como uma solução eficiente em meio ao expressivo e crescente processo de urbanização que tanto modifica a paisagem natural, o uso e a ocupação do solo.

O telhado verde, por exemplo, coloca bem em prática os princípios da drenagem sustentável. Nestes tipos de cobertura, o escoamento superficial se dá de forma mais lenta e depende das particularidades do sistema como profundidade, vegetação, composição do substrato, impermeabilização, entre outros. Segundo Ibiapina *et al.* (2010), a cobertura vegetal já se encarrega de contribuir para o fenômeno de retenção de água logo em fase inicial da precipitação, tendo esta retenção uma relação direta com a saturação do substrato durante o evento. A capacidade de retenção de uma área vegetada representa a relação entre o volume de água precipitado e o volume de água que é drenado pela cobertura, que é conhecida como coeficiente de descarte (IBIAPINA *et al.*, 2010). O Quadro 2 ilustra alguns valores de coeficiente de descarte anual para alguns tipos de cobertura vegetal.

Quadro 2 - Capacidade de retenção de água em função do sistema de cobertura verde.

Sistema de Cobertura Verde	Profundidade do Substrato (m)	Porte das Plantas	Retenção de Água - Média Anual (%)	Coefficiente Anual de Descarte Ψ_a
Extensivo	0,02 a 0,04	Forrações e Sedum	40	0,6
	> 0,04 a 0,60	Sedum e Forrações	45	0,55
	> 0,06 a 0,10	Sedum, Forrações e Herbáceas	50	0,5
	> 0,10 a 0,15	Sedum, Herbáceas e Forrações	55	0,45
	> 0,15 a 0,20	Forrações e Herbáceas	60	0,4
Intensivo	0,15 a 0,25	Gramma, Arbustos e Capão	60	0,4
	> 0,25 a 0,50	Gramma Arbustos e Capão	70	0,3
	> 0,50	Gramma, Arbustos, Capão e Árvores	>90	0,1

Fonte: FLL (2002) *apud* IBIAPINA *et al.* (2010).

Analisando o balanço hídrico entre a evapotranspiração, infiltração, precipitação, escoamento superficial e escoamento subterrâneo pelo leito drenante, Cunha (2004) analisou a capacidade de retenção de água de um telhado verde. Para uma situação simulada de precipitação de 35,41 mm e admitindo a não saturação inicial do substrato, o autor mostrou que a cobertura vegetal pode ser responsável pelo retardo do escoamento em até 13,91 mm, evidenciando a eficácia do método na diminuição do escoamento superficial na vazão de pico. Robertson *et al.* (2005) estimaram uma variação para a redução do escoamento superficial entre 40% e 80% para situações extremas de chuva e para condições normais, respectivamente.

Mentens *et al.* (2006) explicaram a relação da espessura do substrato com a capacidade de retenção do telhado. Em períodos quentes, os autores observaram que 1 cm de substrato confere 2,5 mm a menos de escoamento fluente, agregando alguns estudos comparativos que mostram a relação inversa entre o escoamento e a espessura do substrato. Os valores encontrados foram os seguintes: para espessuras menores que 50 mm, há um escoamento

superficial de 38%, espessuras entre 50 mm e 150 mm, 30% e maiores que 150 mm apresentam escoamento superficial de 20%.

Köhler, Schmidt & Sickermann (2001) concluíram que aproximadamente 75% do volume precipitado anualmente pode ser armazenado na estrutura de um telhado verde e o volume não consumido pela camada de substrato e pela vegetação pode ser reutilizado desde que garantida a qualidade da água.

Vale salientar que, uma vez que se tornam mais frequentes os eventos chuvosos, há uma redução na capacidade de retenção de água do telhado dada a sua saturação, aumentando, assim, o volume escoado. A Tabela 1 abaixo faz uma síntese da avaliação do comportamento da cobertura vegetal submetida a diferentes situações e condições de exposição.

Tabela 1 - Volumes armazenado e descartado por coberturas verdes em função de alguns aspectos estudados.

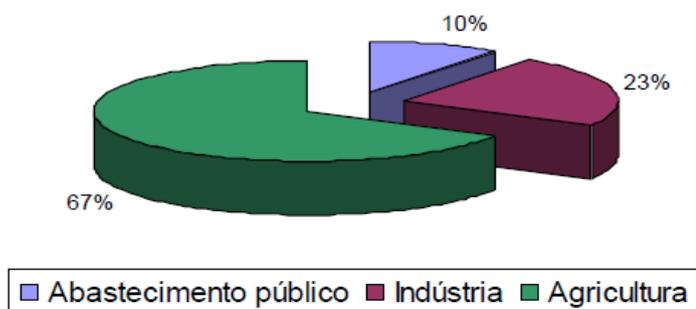
Refrência	Aspecto Estudado	Característica	Volume Armazenado	Volume Descartado	Conclusão
Köhler <i>et al.</i> (2001)	Clima	Temperado	50-75%	25-50%	Em climas tropicais as taxas de evapotranspiração são mais altas, ao passo que em climas temperados as precipitações são menos intensas.
		Tropical	65%	35%	
Teemusk e Mander (2007)	Ocorrência de eventos de chuvas	Sem sequência de eventos chuvosos	85,70%	14,30%	Eventos chuvos sequenciais diminuem a capacidade de retenção das camadas do substrato, devido à saturação.
		Com sequência de eventos chuvosos	66,50%	33,50%	
	Estação do ano	Verão	70-90%	10-30%	No verão, quando a taxa de evapotranspiração é maior, maior é a quantidade de água é retida no sistema substrato-vegetação.
		Inverno	25-40%	60-75%	
Mentens <i>et al.</i> (2006)	Profundidade do substrato	Espessura de 5cm	62,00%	38,00%	Quanto maior a profundidade do substrato, maior é a capacidade de retenção da cobertura verde.
		Espessura entre 5 e 15cm	70,00%	30,00%	
		Espessura acima de 15cm	80,00%	20,00%	
	Clima	Épocas quentes	70,00%	30,00%	Em épocas de clima quente, a evapotranspiração é maior devido a maior capacidade de regeneração da retenção da água no substrato.
		Épocas frescas	49,00%	51,00%	
		Épocas frias	33,00%	67,00%	
Robertson <i>et al.</i> (2005)	Quantidade de chuva	Inferior a 13 mm	93,00%	7,00%	A medida que a precipitação aumenta, a capacidade do telhado verde em armazenar a água precipitada diminui.
		Entre 13 mm e 25 mm	87,00%	13,00%	
		Entre 25 mm e 39 mm	75,00%	25,00%	
		Maior que 39 mm	45,00%	55,00%	
		Situações extremas de chuva	40,00%	60,00%	
		Condições normais de chuva	80,00%	20,00%	

Fonte: Garrido Neto (2012).

Além dos benefícios relacionados à redução nas vazões de pico, as coberturas vegetais podem contribuir ainda com o processo de reaproveitamento de águas pluviais. De acordo com a ANA (2005), a conservação da água pode ser definida como qualquer ação que reduza a quantidade de água extraída em fontes de suprimentos, reduza o consumo de água, reduza o desperdício de água, aumente a eficiência do uso ou aumente a reciclagem e o reuso da água. Os princípios do sistema de reaproveitamento de águas de chuvas são a conservação da água, o saneamento ecológico, a conservação da energia e a redução de enchentes causadas pela impermeabilização das áreas como coberturas, telhados e pátios.

Segundo Goldenfum (2006), face à atual situação de disponibilidade de água, a utilização e aproveitamento da água da chuva se mostra uma alternativa para enfrentar a carência do recurso, seja para fins potáveis (higiene pessoal, ingestão, preparação de alimentos, entre outros), como para fins não potáveis (lavagem de roupas, carros, calçadas, jardins, descargas de vasos sanitários, entre outros). De acordo com o Programa de Pesquisas em Saneamento Básico - PROSAB (2006), algumas condições que motivam o desenvolvimento de técnicas de conservação da água são: a escassez do recurso, as perdas da qualidade dos mananciais pela crescente poluição, os serviços de abastecimento público ineficientes e o crescimento populacional. A Figura 8 ilustra o consumo de água por atividade no mundo.

Figura 8 - Consumo de água por atividade no mundo.



Fonte: Ferreira (2005).

Importar-se com o reaproveitamento da água também reduz a contribuição nas redes públicas de drenagem, minimizando a ocorrência de enchentes. Existem diversos fins para reutilização da água pluvial, sendo eles divididos entre alguns setores, como o residencial, o agrícola, o ecológico e o industrial. A Tabela 2 sintetiza e relaciona os diferentes usos destinados às águas pluviais.

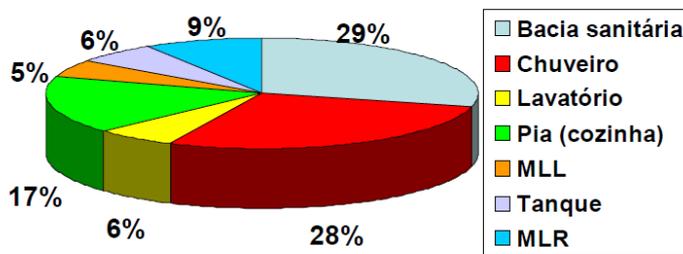
Tabela 2 - Tipos de utilização das águas pluviais.

Tipo de Reúso	Usos
Urbano	Irrigação de parques e jardins públicos, centros esportivos, campos de futebol, gramados, árvores e arbustos decorativos ao longo de ruas e rodovias, áreas ajardinadas ao redor de edifícios públicos, residenciais e industriais; reserva de proteção contra incêndios; sistemas decorativos aquáticos, tais como fontes, chafarizes, espelhos e quedas d'água; lavagem de veículos.
Industrial	Para fins de resfriamento e para usos em processos industriais, como lavagem e composição do próprio produto.
Agrícola	Irrigação e dessedentação de animais (observar se a qualidade da água da chuva é compatível com a requerida para esses usos e, caso não seja, deve ser previsto tratamento).
Ecológico	Inclui aplicações em pantanais, habitats naturais, para aumentar o fluxo de água, estabelecer áreas recreacionais (observar se a qualidade da água da chuva é compatível com a requerida para o contato humano e, caso não seja, deve ser previsto tratamento).

Fonte: Garrido Neto (2012).

Sabendo que parte do uso da água feito nas residências é para fins menos nobres, o reaproveitamento da água da chuva aparece como alternativa importante para suprir este tipo de consumo (REZENDE & HELLER, 2008). Vale salientar que algumas demandas que exigem uma qualidade mais apurada da água não justificam o investimento em sistemas como este. Por isso é muito comum que a utilização da água armazenada e reaproveitada seja destinada à rega de jardins, limpeza de áreas externas, entre outros usos não potáveis, poupando a água oferecida pelas concessionárias para usos mais nobres. A Figura 9 apresenta os percentuais de consumo de água em uma residência.

Figura 9 - Distribuição do consumo de água.



Fonte: Marcos Holanda (2015).

Uma vez precipitada em uma superfície (exemplo do telhado verde), a água da chuva é direcionada para um reservatório através das calhas e condutores. Este sistema é composto, basicamente, por três processos: coleta, armazenamento e tratamento, sendo que este último depende da qualidade da água coletada bem como da sua utilização final. Para garantir a qualidade da água a ser armazenada, alguns cuidados precisam ser tomados, sendo um deles manter o reservatório em condições adequadas.

A aplicação do telhado verde para captação de água de chuva cabe como um método importante na tentativa de se evitar o desperdício decorrente do descarte e aumenta o volume de água que pode ser aproveitado.

Segundo Teixeira, Ilha & Reis (2011), em se tratando da qualidade da água que será armazenada, é preciso considerar que a água que é drenada ao passar pela cobertura vegetal pode tanto contribuir para remoção de partículas poluentes como contribui para o transporte de substâncias indesejáveis que possam estar presentes nas camadas da cobertura.

As características inerentes ao sistema que compõe uma cobertura vegetal influenciam diretamente a qualidade da água que passa por ele (IBIAPINA *et al.*, 2010).

2.6 Definição de demanda hídrica de irrigação de uma cultura

2.6.1 Precipitação Efetiva

A precipitação efetiva, que se trata da precipitação total que não esco superficialmente nem percola abaixo da zona radicular da cultura, pode ser calculada a partir das relações abaixo, a

depende se a precipitação total supera ou não os 250 mm. Este é o método USDA, cuja conformação foi definida por meio de balanços hídricos concatenando a entrada da precipitação com as saídas por escoamento superficial e percolação, bem como a água retida na zona radicular, para várias culturas.

$$P_{ef} = \frac{P_t \cdot (125 - 0.2 \cdot P_t)}{125} \quad \text{Para } P_t < 250 \text{ mm} \quad (1)$$

$$P_{ef} = P_t + 0.1 \cdot P_t \quad \text{Para } P_t > 250 \text{ mm} \quad (2)$$

Em que P_{ef} é a precipitação efetiva em mm e P_t é a precipitação total também em mm.

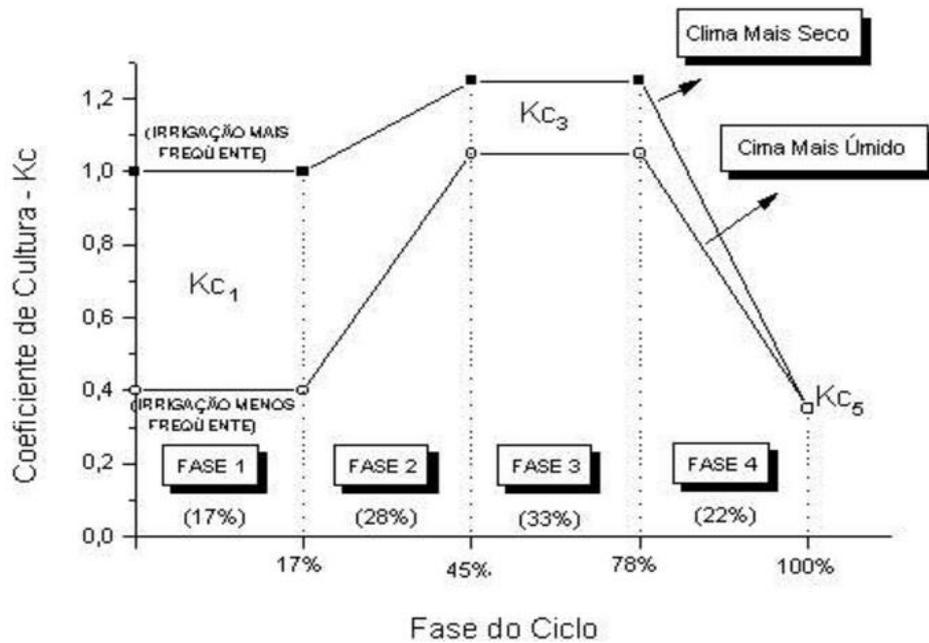
2.6.2 Evapotranspiração

A quantidade de água evaporada e transpirada em uma superfície coberta por vegetal durante um determinado período (evapotranspiração) pode ser estimada através do seguinte cálculo, EMBRAPA (2005):

$$E_{Trc} = E_{To} \cdot K_c \cdot K_s \quad (3)$$

Sendo E_{Trc} a evapotranspiração real da cultura (mm/mês), E_{To} a evapotranspiração potencial (mm/mês), o K_c o coeficiente de cultura e o K_s o coeficiente de molhamento. O K_c é utilizado para ajustar os valores de E_{To} às condições de desenvolvimento da cultura, estando relacionado à fenologia da planta. Com base no Embrapa (2010), “a base técnico-científica para o uso do K_c é a que as plantas necessitam de uma quantidade de água maior ou menor de acordo com os seus estádios de desenvolvimento”, ou seja, o K_c acompanha a área foliar da cultura. No caso das culturas anuais, o K_c inicial varia de 0,3 a 0,5, K_c médio de 0,8 a 1,2 e o K_c final de 0,4 a 0,7, dependendo do tipo de cultura, como mostra a figura abaixo. A seleção do valor de K_c é influenciada, portanto, pelas características da cultura, pela época de plantio ou semeadura, estágio de desenvolvimento da cultura e as condições apresentadas pelo clima local, ilustrado na Figura 10.

Figura 10 - Variação do Kc de acordo com o estágio de desenvolvimento da planta.



Fonte: Embrapa (2009).

De acordo com o Embrapa (2007), as quatro fases ou estágios de desenvolvimento folicular podem ser descritas como:

- Estádio inicial (fase 1) - que corresponde ao início do crescimento da cultura, quando a superfície do solo não está completamente coberta pela cultura - (cobertura do solo menor que 10%);
- Estádio de desenvolvimento vegetativo (fase 2) - de 10% até a 80% de cobertura do solo;
- Estádio de florescimento ou reprodutivo (fase 3) - que corresponde ao início da cobertura plena do solo (início do florescimento) até o início da maturação, que é indicada pela descoloração ou queda das folhas;
- Estádio de maturação (fase 4) - que corresponde ao início da descoloração (ou queda) das folhas até a plena maturação ou ponto de colheita.

Os valores de Ks são determinados em função da umidade do solo, variando de 0 a 1. Em áreas irrigadas, onde a umidade do solo é geralmente mantida próxima à capacidade de campo, pode ser utilizado um valor médio de Ks igual a 0,9, o qual será adotado nas considerações deste estudo, uma vez que o substrato utilizado no telhado verde é o lodo.

A evapotranspiração potencial de referência (ET_o), por definição, é a evapotranspiração de uma cultura hipotética, com altura fixa de 0,12 m, albedo igual a 0,23, e resistência da cobertura ao transporte de vapor d'água igual a 70 s.m⁻¹, que representaria a evapotranspiração de um gramado verde, de altura uniforme, em crescimento ativo, cobrindo totalmente a superfície do solo, e sem falta de água.

Com a publicação do boletim 56 da FAO, este método passou a ser utilizado e recomendado como procedimento padrão para o cálculo da ET_o, embora possa convergir a erros próximos a 30% para condições climáticas mais específicas (WIDMOSER, 2009).

A equação está apresentada abaixo:

$$ET_o = \frac{0.408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T + 273} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0.34 \cdot u_2)} \quad (04)$$

$$\Delta = \frac{4098 \cdot e_s}{(T + 237.3)^2} \quad (05)$$

$$e_s = 0.6108 \cdot \exp\left(\frac{17.27 \cdot T}{T + 237.3}\right) \quad (06)$$

$$e_a = \frac{U_R \cdot e_s}{100} \quad (07)$$

Em que,

Δ é a inclinação da curva de pressão de vapor de saturação (kPa °C⁻¹);

γ é o coeficiente psicrométrico (kPa °C⁻¹);

R_n a radiação líquida total diária (MJ m⁻² d⁻¹);

G o fluxo de calor no solo (MJ m⁻² d⁻¹);

g a constante psicrométrica (0,067 kPa °C⁻¹);

T a temperatura média diária medida a 2 m de altura (°C);

u_2 a velocidade do vento medida a 2 m de altura (m s⁻¹);

e_s é a pressão de vapor de saturação (kPa);

e_a é a pressão parcial de vapor em (kPa).

A diferença apresentada entre as temperaturas máxima e mínima é uma função do grau de cobertura de nuvens em um determinado local. Para o cálculo da radiação solar foram

utilizadas as relações abaixo. A radiação líquida total (Rn) é uma função do saldo de radiação de ondas curtas (Rns) e do saldo de radiação de ondas longas (Rnl), conforme relação:

$$Rn = Rns - Rnl \quad (8)$$

O Rns, por sua vez, depende do valor de Rs, que é a Radiação Solar Global. A sua fórmula e do Rnl estão apresentadas abaixo.

$$Rns = (1 - \alpha) * Rs \quad \text{Para } \alpha=0.23 \quad (9)$$

$$Rs = \left(as + bs * \frac{n}{N} \right) * Ra \quad (10)$$

$$Rso = (as + bs) * Ra \quad (11)$$

$$Rnl = \sigma * (T + 273)^4 * (0.34 - 0.14 * \sqrt{ea}) * \left(1.35 * \frac{Rs}{Rso} - 0.35 \right) \quad (12)$$

Com $\sigma = 4.903 * 10^{-9} \text{ MJ. K}^{-4} . \text{m}^{-2} . \text{dia}^{-1}$

2.6.3 Demanda Hídrica de Irrigação

A estimativa da demanda hídrica pode ser feita considerando-se a relação entre a evapotranspiração real da cultura, que representa a sua necessidade, e o volume de água naturalmente disposto, representado pela precipitação efetiva.

$$Q = \sum_{i=1}^n AI_i \left(\frac{ETrc - Pef}{Ef * 86.4 * d} \right) * \alpha \quad (13)$$

Em que,

Q: Vazão média mensal necessária para irrigação na bacia hidrográfica (m³/s);

AI_i: Área Irrigada do Telhado (km²);

ETrc: Evapotranspiração de Referência;

Pef: Precipitação Efetiva;

d: Número de Dias no mês;

Ef: Eficiência do Método;

α: Fator de Práticas Agrícolas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O município do Recife, localizado no litoral nordestino, é a capital do Estado de Pernambuco. Ocupa uma posição privilegiada, distante 800 km de outras duas metrópoles regionais, Salvador e Fortaleza, e disputa com elas a influência na região. Abrange uma superfície territorial de 218,50 km² e limita-se ao norte com as cidades de Olinda e Paulista, ao sul com o município de Jaboatão dos Guararapes, a oeste com São Lourenço da Mata e Camaragibe e a leste com o Oceano Atlântico.

De acordo com Oliveira (2012), o espaço urbano sofre constantes modificações, o que faz com que a vida na cidade seja moldada pelas dinâmicas e mutáveis relações econômicas, sociais e culturais com o passar das décadas. Com Recife não é diferente. Torna-se, então, muito importante planejar o espaço urbano buscando sempre prevenir os danos causados pela expansão desordenada e acelerada bem como pelo adensamento urbano.

O objeto de estudo compreendeu o Telhado Verde do Empresarial Charles Darwin, situado na Ilha do Leite, município do Recife, analisando preliminarmente a sua demanda hídrica de irrigação e sua influência no dimensionamento do reservatório inferior de reúso de águas. A Figura 11 mostra a perspectiva do empreendimento.

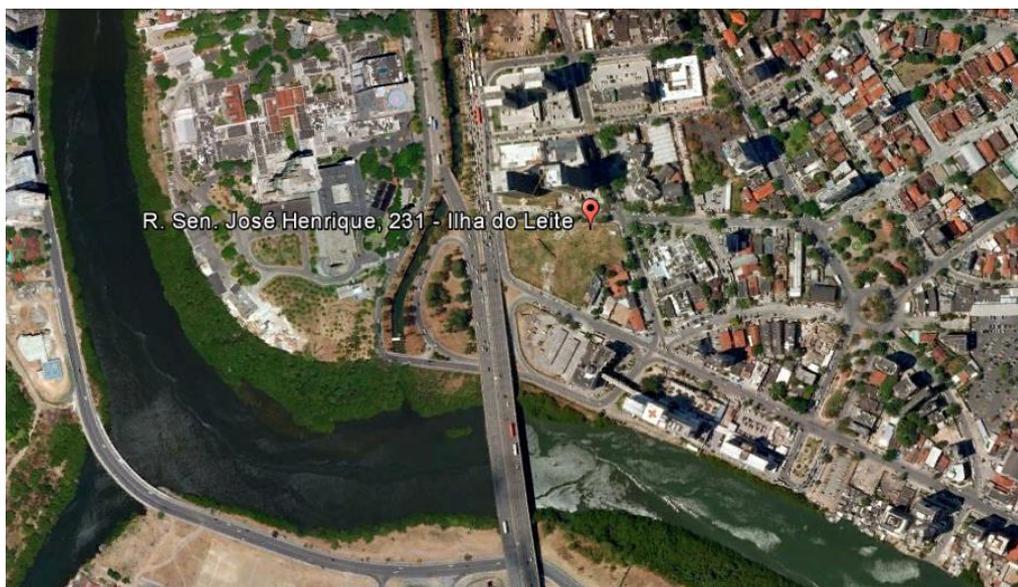
Figura 11 - Perspectiva do empreendimento.



Fonte: Rio Ave (2015).

A sua localização próxima à Avenida Agamenon Magalhães, principal via de ligação entre a Zona Norte e a Zona Sul do Grande Recife, justifica ainda mais o estudo (Figura 12). A Ilha do Leite é um grande centro de negócios que impõe uma elevada concentração de prédios, movimentação de veículos e formação de um microclima característico de grandes centros urbanos. A qualidade do ar, o conforto térmico da região e os problemas enfrentados pela drenagem urbana tradicional fundamentam o interesse na avaliação técnica e construtiva do breve maior telhado verde da cidade do Recife. A torre empresarial possui 34 pavimentos tipo, com cerca de 10 unidades por andar e 19 elevadores. As salas de escritórios possuem geometria diversificada, com áreas variando entre 48 m² e 712 m² e dispostas de forma variada, podendo haver de uma sala a dez salas por andar. Isso evidencia a proporção do volume e do tráfego de pessoas que o funcionamento desta torre pode trazer ao local.

Figura 12 - Localização da área de estudo – Empresarial Charles Darwin, Recife/PE.



Fonte: Google Earth (2016).

Segundo dados do recenseamento do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), a cidade do Recife apresenta uma população de 1.537.704 habitantes, o que corresponde a 17,48% da população do Estado e a 41.63% da Região Metropolitana do Recife. Esses dados implicam em uma densidade demográfica de 6.989 habitantes/km² e mostram a influência desta região na configuração do cenário do Estado. A Ilha do Leite apresenta as características mostradas na Tabela 3, que esclarecem a densidade demográfica razoável do bairro comparativamente a outros bairros como o bairro do Recife, que possui

uma densidade demográfica de 2,23 habitante/hectare. Mais da metade de sua população está incluída na faixa etária de 25 a 59 anos e é uma região considerada como um pólo médico e essencialmente comercial.

Tabela 3 - Dados CENSO Demográfico - características da população e domicílios.

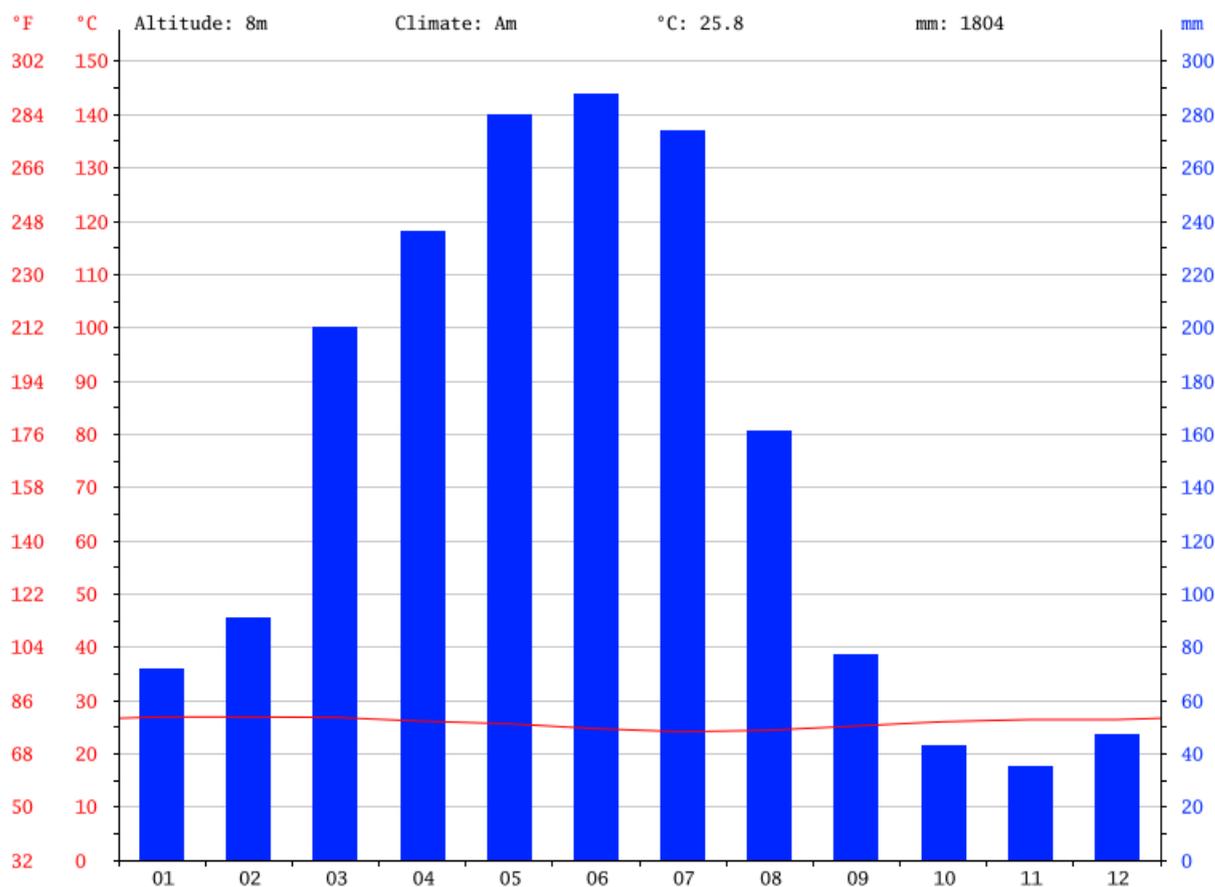
Localização (Distância do Marco Zero): 2,64 km		
Área Territorial (hectare) ² : 26		
População Residente: 1.007 habitantes		
População por sexo		%
Masculina	446	4,29
Feminina	561	55,71
População por faixa etária	hab	%
0 – 4 anos	39	3,87
5 – 14 anos	121	12,02
15 – 17 anos	48	4,77
18 – 24 anos	14	11,31
25 – 59 anos	534	53,03
60 anos e mais	151	15
Taxa Média Geométrica de Crescimento Anual da População		
(2000/2010): 0,49%		
Densidade Demográfica		
(Habitante/Hectare): 38,21		
Média de moradores por domicílio		
(Habitante/Domicílio): 2,8		

Fonte: IBGE (2010).

Em se tratando das questões climáticas, o município do Recife está situado na faixa intertropical e apresenta sua área urbana localizada a cerca de 8 graus ao sul do equador. Segundo Oliveira (2012), a Região Metropolitana do Recife “encontra-se localizada na faixa de maior insolação da Terra, recebendo os raios solares quase perpendiculares à superfície e, pela baixa latitude, com horas de insolação praticamente constantes entre os meses de verão (de maior insolação) e inverno (de menor insolação)”.

Possui um clima tropical com precipitações expressivas na maioria dos meses. A temperatura média anual é de 25,8°C e apresenta uma pluviosidade média anual de 1804 mm. A Figura 13 ilustra o clima do Recife.

Figura 13 - Gráfico climático do Recife/PE.



Fonte: Clima do Recife (2016).

3.2 Descrição da estrutura do telhado verde em estudo

A cobertura verde que embasará o estudo dispõe de uma área total de aproximadamente 2876 m², distribuída entre a marquise, a coberta intermediária e a coberta do edifício garagem do empreendimento (Figura 14). Conforme descrito pelos engenheiros da construtora, a motivação inicial deste projeto sustentável foi o aperfeiçoamento estético do edifício, uma vez que da torre principal, teria uma vista não muito congruente com o porte desta construção vertical: uma laje de concreto.

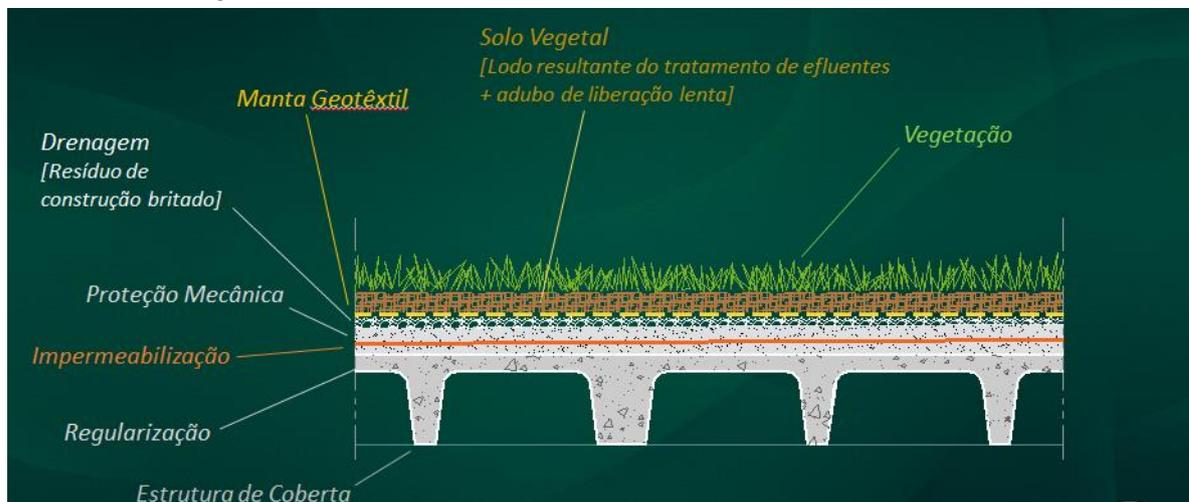
Figura 14 - Locais de implantação do telhado verde.



Fonte: Rio Ave (2015).

A Figura 15 ilustra o modelo construtivo do telhado que será desenvolvido pelos idealizadores.

Figura 15 - Modelo Construtivo do telhado verde do Charles Darwin.



Fonte: Rio Ave (2015).

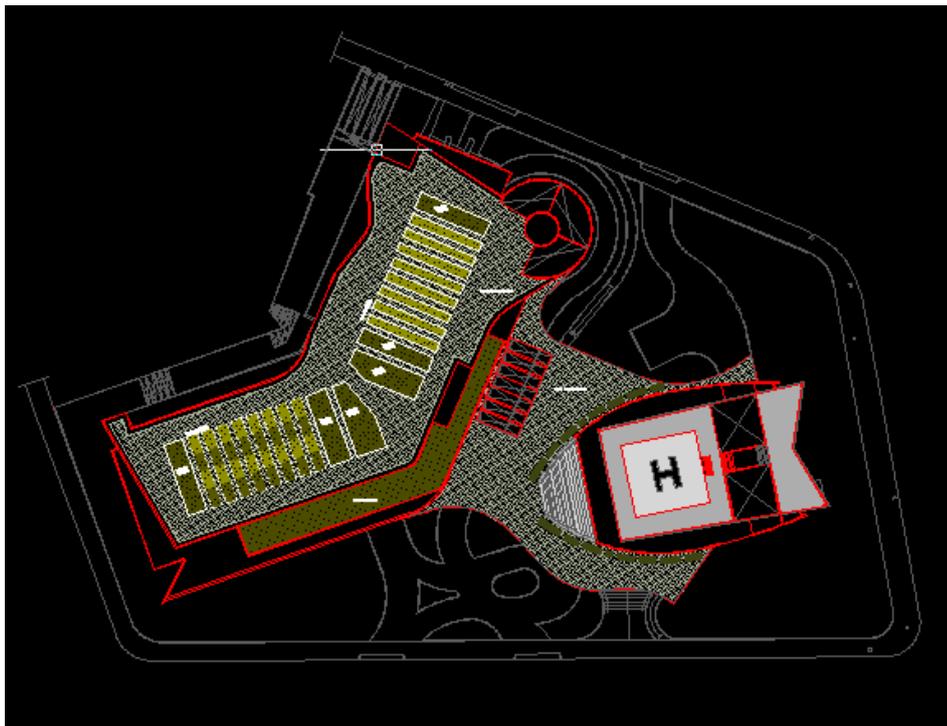
A estrutura do telhado verde será composta por:

- Uma camada de vegetação de gramíneas;

- Camada de substrato de 7 a 10 cm que se divide em 2/3 de Lodo AFC Soluções Ambientais, 1/3 de terra vegetal e adubo de liberação lenta – MULTICOTE AGRI de 300 g/cm²;
- Camada filtrante e de separação com uma manta geotêxtil;
- Camada drenante de 3 a 4 cm com brita reciclada de 6 a 9 mm;
- Camada de proteção mecânica;
- Camada de impermeabilização;
- Camada de regularização.

As características desta cobertura vegetal apontam para um telhado verde do tipo extensivo, conforme atributos definidos no item 2.3. A água que cai na cobertura é recolhida e encaminhada por tubulações a um reservatório de armazenagem cuja capacidade é de 284.000 litros, com o objetivo de ser reutilizada. A vista superior do telhado verde está mostrada na Figura 16.

Figura 16 - Planta Baixa do telhado verde.



Fonte: Rio Ave (2015).

De acordo com as informações fornecidas, a instalação desta técnica resultará numa sobrecarga estimativa de 40 kg a 60 kg por m² em condições não saturadas. Conforme

informado na visita técnica ao local, o item mais caro do telhado verde é representado pelo substrato, o que motivou o estudo de uma solução alternativa. A própria realizadora do empreendimento possui uma unidade ambiental em SUAPE com uma estação de tratamento de esgoto, cujo resíduo do processo é o lodo. Este lodo é o material estudado a ser utilizado como camada de substrato para esta cobertura.

Foram estudadas algumas amostras com percentagens diferentes de adubo e de lodo com a finalidade de se obter a mistura ideal que proporcione o melhor resultado possível. Existe, porém, uma preocupação adicional referente à presença de coliformes fecais no lodo, justificando a necessidade de análises microbiológicas. Este estudo motivou a não instalação ainda do teto verde.

Os sistemas de irrigação (formas pelas quais a água será aplicada à cultura) a serem utilizados nos meses secos serão o método da microaspersão e do gotejamento. No primeiro deles, a água é distribuída através de um elemento giratório (ou placa difusora) acoplado aos emissores de água (microaspersores), cujo acionamento se dá pela própria pressão da água. São uma alternativa ao sistema de gotejamento com objetivo de ampliar a área molhada pelo emissor, porém, como operam a vazões superiores, consomem maior energia. Já o sistema de gotejamento, opera a baixas vazões com gotejadores, que são dispositivos projetados para dissipar a energia de pressão da água e aplicar uniformemente pequenas vazões na forma de gotas. Estes métodos são considerados de mais alta eficiência de aplicação, apresentam facilidade de operação e bom controle sobre a umidade e aeração do solo.

Segundo o Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2003), o manejo da irrigação se preocupa com o volume de água a ser utilizado e o momento certo para irrigar. Tanto a insuficiência quanto o excesso de água podem trazer danos ao desenvolvimento e manutenção das plantas, pois pode ocasionar um crescimento excessivo bem como pode inibir a floração da área verde. De acordo com a Embrapa (2007), previne-se, portanto, o encharcamento do solo e a lixiviação de nutrientes que possam afetar as plantas. Os métodos mais convencionais tomam como base as medidas do teor ou estado da água no solo e o balanço aproximado de água do solo.

O volume de água que deve ser irrigado vai ser uma função das características apresentadas pelo solo, do tipo de cultura e do clima da região. Este volume é igual à quantidade de água requerida pela cultura em determinado período de tempo, de modo a não limitar seu

crescimento e sua produção sob as condições climáticas locais. Ele pode ser calculado com base na evapotranspiração realizada pela vegetação, conforme será descrito na sequência para aplicação do telhado verde em estudo.

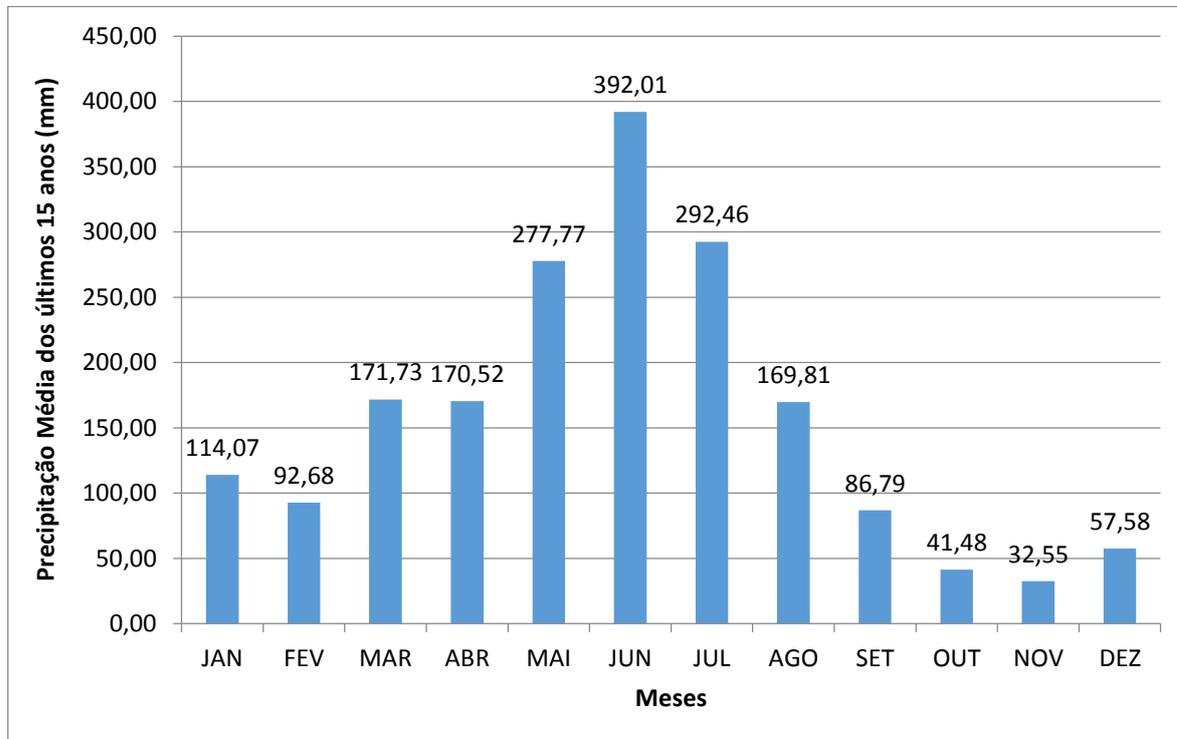
Para estimar a quantidade de água necessária é preciso determinar a área irrigada, o volume de água disponível naturalmente por meio da precipitação e o perdido por meio da evapotranspiração, bem como as perdas inerentes ao sistema de irrigação.

3.3 Cálculo da demanda hídrica

3.3.1 Demanda hídrica de irrigação

O território nordestino, em sua maioria, apresenta volume de chuvas anual inferior ao necessário para atender à demanda hídrica das plantas. Dada a irregular distribuição de chuvas na região, conforme mostra o Gráfico 1, o eventual estresse hídrico da plantação pode ocorrer quando dos meses mais secos e estágios mais críticos de desenvolvimento da cultura, necessitando, deste modo, da intervenção com irrigação.

Gráfico 1 - Distribuição mensal de chuvas na cidade do Recife.



Fonte: O Autor com base na APAC – Agência Pernambucana de Águas e Climas (2016).

De acordo com Resende *et al.* (1990), a água é um insumo responsável por uma parcela significativa do custo de manutenção de uma vegetação, justificado principalmente pelo gasto com o bombeamento. O empreendimento estudado dispõe de 2 reservatórios inferiores com 284 mil litros de água cada, dos quais um será utilizado para as águas de reúso, e 2 outros reservatórios superiores com 133 mil litros de água cada, atendidos por um conjunto de duas bombas com capacidade de 36 m³/h para vencer 17 mca.

Os dados de precipitação mensal obtidos para a região na qual está instalado o telhado estão expostos na Tabela 4. Foram utilizadas as médias mensais dos últimos 15 anos, ou seja, de janeiro de 2002 a Novembro de 2016, dado o número de falhas apresentado nos anos antecedentes.

Tabela 4 - Precipitações médias mensais da região do Recife.

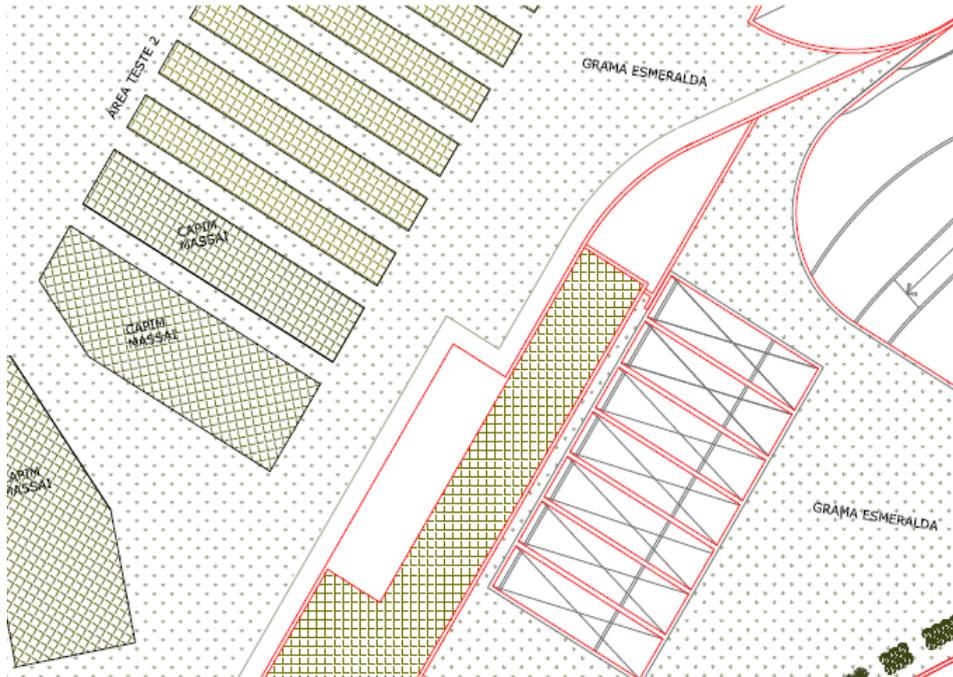
Município/Posto: Recife (Alto da Brasileira)												
ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
2002	202,3	191,7	368,9	125,1	233,4	481,9	282,7	132,9	32	49,4	67,6	17,7
2003	35,1	113,4	245	125,6	208,9	446,1	236,2	154,7	115,1	77,9	14,3	25,5
2004	302,4	165,5	145,7	242,3	333,5	581,1	447,7	148,2	84	37,8	14,5	16,3
2005	6,6	66,3	50,9	114,5	509,7	621,8	112	305,7	17,4	39,3	6,5	143,3
2006	10,8	15,2	164	259,6	289,7	393,9	232,1	114,4	90,6	8,6	57,8	108,5
2007	66,9	146,8	112	339,1	214,2	344	237	238,9	137,9	28,2	22,8	27,8
2008	73,5	32	373,9	163,3	341	435,5	297,1	304,3	62,2	38,5	15,8	21,4
2009	93,7	308,7	140,9	258,6	299	267,5	362,7	190,9	57,3	3,7	27,8	55,6
2010	149,6	36,4	109,4	183,7	122,5	482	139,4	132,6	76,9	41,6	16	66,1
2011	132,4	5,6	-	149,2	444,9	243,1	462,7	188,6	31,7	24,4	93,6	16,8
2012	216,3	110,5	87,9	57,9	103,1	349,1	311,7	157	9	39,4	10,4	29,4
2013	124	35,1	65	4,5	202,5	400,5	476,9	196,4	161,3	56	67,3	158,4
2014	161,5	99,7	130,6	178,6	282,4	301,2	185,2	149,5	339,1	145,5	55,8	74,1
2015	50	53,8	274,6	41,2	217	391,7	488,2	68,7	45	20,7	9,8	45,2
2016	85,9	9,5	135,4	314,6	364,8	140,8	115,3	64,3	42,3	11,2	8,3	-
MÉDIAS (mm)	114,07	92,68	171,73	170,52	277,77	392,01	292,46	169,81	86,79	41,48	32,55	57,58

Fonte: O Autor com base nas informações obtidas no *site* da APAC (2016).

Foram considerados dois valores de Kc no estudo, um referente à fase final de desenvolvimento foliar da planta ($k_c = 0,7$), e outro referente ao médio valor de Kc atingido pela grama Esmeralda ($K_c = 0,94$), segundo Silva (2004). Esta escolha foi embasada na maior parcela da cobertura vegetal, que é composta por grama Esmeralda, capim Massai e outras

espécies de capim, vide configuração aproximada do telhado na Figura 17 e dados da Figura 18. A grama Esmeralda representa aproximadamente 64% de todo o telhado verde estudado, valor expressivo que justificou a adoção simplificada de seus valores de K_c .

Figura 17 - Parcela do teto verde com tipos de vegetação.



Fonte: Planta Baixa Plantio Teto Jardim, Rio Ave (2015).

As demais espécies que serão implantadas no telhado são:

Figura 18 - Espécies Vegetais do telhado verde Charles Darwin.

ESPÉCIE	ÁREA	MUDAS/M ²	QUANTIDADE
 Área teste	154,60m ²		
 Capim-barba-de-bode	154,60m ²	16	2474
 Capim-bufalo	54,30m ²	16	869
 Capim-texas-vermelho	56,70m ²	16	908
 Moreia-branca	79,40m ²	9	715
 Pandanus-mini	41,00m ²	9	369
 Iris-amarela	59,70m ²	25	1493
 Alho Social	25,30m ²	25	633

Fonte: Planta Baixa Plantio Teto Jardim, Rio Ave (2015).

Para a análise presente, a definição da ETo foi embasada no método FAO56-PM enunciado por Alencar, Sedyama e Mantovani (2015), que parametriza a equação de Penman-Monteith. As normais climatológicas para a temperatura mensal T (°C), umidade relativa UR (%), o vento u2 (m/s) e a insolação em horas foram obtidos através do *site* do INMET (2016) para a cidade do Recife - Estação Curado, conforme Tabela 5 abaixo. Os dados históricos utilizados foram do ano de 2002 a 2016, utilizando a mesma justificativa adotada para definição das precipitações médias totais da região, de que os anos anteriores a 2002 apresentaram muitas falhas nesta estação. Como esta base foi adquirida do *site* do INMET, utilizou-se a única estação disponível para o local: a Estação Curado.

Tabela 5 - Dados históricos para a cidade do Recife com base na Estação Curado.

BDMET INMET - ESTAÇÃO: RECIFE CURADO PE (OMM: 82900)							
Latitude (graus): -8.05							
Longitude (graus): -34.95							
Altitude (metros): 10.00							
Estação Operante							
Início de operação: 07/07/1961							
Período solicitado dos dados: 01/01/2002 a 13/12/2016							
Vento		Insolação		Umidade Relativa		Temperatura Compensada	
Jan	2,2604	Jan	7,9	Jan	74,0274	Jan	26,9851
Fev	2,2218	Fev	7,5	Fev	74,5953	Fev	27,1966
Mar	2,0017	Mar	6,6	Mar	76,3018	Mar	27,1836
Abr	1,7861	Abr	6,2	Abr	79,311	Abr	26,661
Mai	1,633	Mai	6	Mai	83,057	Mai	25,7828
Jun	1,697	Jun	5,6	Jun	84,7684	Jun	24,8154
Jul	1,8374	Jul	5,1	Jul	83,7485	Jul	24,2461
Ago	2,1133	Ago	6,7	Ago	80,8633	Ago	24,2507
Set	2,3978	Set	7,2	Set	76,2089	Set	25,2056
Out	2,5563	Out	8	Out	73,0911	Out	26,1217
Nov	2,5335	Nov	8,9	Nov	70,9867	Nov	26,7959
Dez	2,3312	Dez	8,2	Dez	66,5899	Dez	25,2859

Fonte: INMET (2016).

No *site* estavam disponíveis a temperatura máxima, a mínima e a média compensada. Optou-se por utilizar esta última, pois seu critério de operação realiza três leituras das temperaturas de seis em seis horas, fazendo uma média destas com a temperatura máxima e mínima. A

temperatura medida compensada é a média destes cinco valores, sendo um dado mais indicativo.

Para chegar ao valor de ETo é preciso considerar a duração máxima de insolação diária em horas (valores N) e os valores de radiação no topo da atmosfera (Ra), conforme Tabelas 6 e 7 abaixo. Seus valores mensais foram obtidos considerando-se uma latitude a 8° Sul da linha do Equador. Consideraram-se os seguintes valores de as e bs: as = 0.25 e bs = 0.5.

Tabela 6 - Duração máxima de insolação diária em hora, nos vários meses do ano e latitudes de 10°N e 40°S. Os valores correspondem ao 15° dia de cada mês (Valores de N).

Latitude	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
8° S do Equador	12,5	12,4	12,1	11,9	11,7	11,6	11,7	11,9	12,1	12,3	12,5	12,6

Fonte: Smithsonian Meteorological Tables, Table 171 (1951).

Tabela 7 - Valores de radiação no topo da atmosfera (Ra) em Mj.m²/dia para latitudes sul.

Latitude	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
8° S do Equador	38,9	39	37,9	35,1	31,9	30	30,7	33,4	36,6	38,4	38,8	38,7

Fonte: Smithsonian Meteorological Tables, Table 171 (1951).

De posse do valor obtido para a ETo, é possível definir, então, a evapotranspiração real da cultura através da equação 03 mostrada.

Para a definição da demanda hídrica, define-se a eficiência do método de irrigação como 0,85 de acordo com Embrapa (2005) para o método da microaspersão e gotejamento. Este parâmetro é definido em função da uniformidade de distribuição das lâminas que pode gerar, da condição de localização de aplicação das lâminas de irrigação, diferenciada nos diferentes sistemas, das características dos emissores, da interferência das condições climáticas em cada método de irrigação, perdas por interceptação, etc. O fator de práticas agrícolas foi adotado como 1,00 em função da não alternância entre planto e colheita experimentada para a vegetação deste estudo. Normalmente ele é utilizado com o valor de 0,75 para refletir justamente o tempo de intercalação entre os plantios e colheitas quando do cultivo de culturas como feijão, milho, sojapor exemplo. Conforme explicado, foram utilizados dois valores de Kc referentes a diferentes estágios de desenvolvimento da planta. A área a ser irrigada é o montante final de toda a cobertura vegetal, num total de 2876 m².

3.3.2 Demanda hídrica para limpeza do prédio

A demanda hídrica no tempo seria o somatório da demanda de irrigação com o volume de água necessário para realizar serviços de limpeza no prédio. Este último refere-se a eventuais serviços de limpeza de calçadas, fachadas e pisos. As fachadas receberão manutenção uma vez ao ano, as calçadas em situações em que a varrição diária não fosse suficiente e as entradas e saídas de caminhões precisarão em média de uma limpeza semanal. Estes valores são estimativos e só poderão ter sua veracidade confirmada quando do efetivo funcionamento do empreendimento. Como se pretende realizar uma comparação entre as características volumétricas do reservatório inferior dimensionado inicialmente e o volume estimado com a presença da vegetação, estes valores extras de água não serão inferidos na análise. Esta decisão é justificada pelo fato de o projeto hidráulico inicial não considerar a influência da cobertura vegetal nem mesmo quantificar esta demanda secundária.

Vale salientar que as águas de reúso serão destinadas para fins não nobres: irrigação e limpeza externa do prédio. Ainda assim, análises qualitativas da água estão sendo realizadas com o apoio de pesquisadores da Universidade Federal Rural de Pernambuco, para garantir a utilização deste sistema sem quaisquer posteriores danos à configuração de todo o empreendimento.

3.4 Dimensionamento do reservatório inferior

Para o dimensionamento estimativo do reservatório inferior foi utilizado o método de Rippl ou método das massas, utilizando as diretrizes da NBR 15527/2007 - “Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos” (ABNT, 2007). Este reservatório armazenará as águas pluviais bem como a água proveniente do sistema de refrigeração do prédio, contribuições estas que serão somadas. Neste método, utilizam-se as seguintes variáveis de cálculo:

- V = volume do reservatório
- St = Volume de água no reservatório no tempo t (m^3)
- Dt = Demanda no tempo t (m^3)
- Qc = Volume de chuva aproveitável (m^3)

- Q_{sr} = Volume de água do sistema de refrigeração (m^3)
- C = Coeficiente de escoamento superficial do Telhado Verde
- P = Precipitação da chuva no tempo t (mm)
- A = Área de captação do Telhado Verde (m^2)

No software utilizado para o dimensionamento, o Excel, o cálculo do St foi feito com auxílio da função lógica “se” conforme descrito abaixo:

$$se(Dt - Qt < 0; 0; Dt - Qt)$$

Com os parâmetros, o procedimento para definição do volume final do reservatório é o seguinte:

- Compara-se Dt (m^3) com o $Qt = Qc + Q_{sr}$ (m^3), sendo Qc adquirido através da seguinte relação:

$$Qc = P \times C \times A \text{ (} m^3 \text{)}$$

- O volume de água no reservatório no tempo t será de:

$$St = Dt - Qt. \text{ (} m^3 \text{)}$$

- Por fim, o volume final do reservatório será $V = \sum St$ somente para valores de $St > 0$.

O volume de água proveniente do Sistema de Refrigeração (Q_{sr}) foi estimado em função do número ar-condicionados de 12000 BTUs e da vazão de contribuição de cada um por hora. Para levantamento destes dados, recorreu-se às plantas baixas dos pavimentos-tipo, podendo assim definir a área privativa por andar contemplada pelos equipamentos de refrigeração. Considerou-se uma área de contribuição de 20 m^2 por cada um deles e assim fez-se a contabilização final. É o que mostra a Tabela 8.

Tabela 8 - Quantitativo estimado de ar-condicionados.

Pavimento	Áreas privativas (m ²)	Quantidade de Ar- condicionado
TÉRREO	392,27	20
1° ao 17° PAV.	621,36	564
18° PAV.	642,6	33
19° PAV.	710,22	36
20° PAV.	707,78	36
21° PAV.	705,16	36
22° PAV.	702,34	36
23° PAV.	699,36	35
24° PAV.	695,26	35
25° PAV.	690,9	35
26° PAV.	686,28	35
27° PAV.	681,4	35
28° PAV.	676,28	34
29° PAV.	670,9	34
30° PAV.	626,44	32
31° PAV.	618,92	31
32° PAV.	611,04	31
33° PAV.	602,84	31
34° PAV.	594,32	30

Fonte: O Autor.

A vazão de colaboração foi definida de acordo com Mota, de Oliveira & Inada (2004), no qual estima-se que, em média, um ar condicionado com 12 mil BTUs gera em torno de 300 ml de água por hora. Este valor foi multiplicado pelo tempo de funcionamento dos aparelhos, contabilizado de acordo com do expediente normal do edifício (das 8h da manhã às 18h da noite) acrescido de 2 horas extras e considerando 20 dias úteis por mês. Os resultados obtidos estão ilustrados na Tabela 9.

Tabela 9 - Contribuição hídrica mensal do sistema de refrigeração.

Número Total de Ar-condicionados:	1139
Vazão de água por cada 12000 BTU (ml/hora)	300
Contribuição Hídrica mensal no Reservatório (m³)	82,01

Fonte: O Autor.

Vale salientar, no entanto, que os climatizadores de ar serão do tipo HIDRÔNICOS/HI-WALL, que se assemelham ao ar-condicionado tipo Split, mas provém de um sistema de entrada de água gelada nos próprios equipamentos, fazendo com que seu funcionamento possa ser diferente. Isso justifica o fato de a definição desta demanda hídrica adicional ser uma estimativa.

O valor da demanda no tempo considera o volume necessário para a irrigação da vegetação de acordo com as características locais, conforme memória de cálculo definida no item anterior.

Com base na Tabela 01, utilizou-se um coeficiente de escoamento superficial para o telhado verde de 0,3, indicado para climas tropicais e quentes e para espessuras de substrato entre 5 cm e 15 cm. Isto significa que 70% do volume de água precipitado é absorvido pela cobertura para manter suas atividades funcionais. Como a cobertura será quase 100% vegetal, já que a faixa não vegetada é de 1,50 metros em torno de toda a coberta com argila expandida, foi utilizado apenas este coeficiente de descarte de águas. Esta área de 1,50 m foi definida como função de segurança quando da realização de serviços de manutenção. Caso houvesse porção com telhado convencional em material concretado, o Quadro 3 de coeficientes de RunOff poderia ser utilizada.

Quadro 3 - Coeficiente de Runoff do Concreto.

Superfície	Coeficiente de runoff, C	
	Intervalo	Valor Esperado
1. Pavimento		
1.1. Asfalto	0,70 - 0,95	0,83
1.2. Concreto	0,80 - 0,95	0,88
1.3. Calçadas	0,75 - 0,85	0,80
1.4. Telhado	0,75 - 0,95	0,85
2. Cobertura: Grama Solo Arenoso		
2.1. Pequena declividade (2%)	0,05 - 0,10	0,08
2.2. Declividade média (2 a 7%)	0,10 - 0,15	0,13
2.3. Forte declividade (7%)	0,15 - 0,20	0,18
3. Cobertura: Grama solo Pesado		
3.1. Pequena declividade (2%)	0,13 - 0,17	0,15
3.2. Declividade média (2 a 7%)	0,18 - 0,22	0,20
3.3. Forte declividade (7%)	0,25 - 0,35	0,30

Fonte: Júnior (2014).

3.5 Custos das demandas de irrigação

Para o sistema de irrigação por micro aspersão que será utilizado, faz-se determinante a análise das despesas incorridas para a manutenção do processo de reaproveitamento das águas pluviais. Esta preocupação é justificada pela necessidade em se avaliar a influência econômica provocada por esta alternativa sustentável.

3.5.1 Tarifa de água

A tarifa de fornecimento de água pela concessionária local foi definida na Resolução ARPE Nº 107/2016 - Publicada no DOE nº. 31 de 19/02/2016, *site* da COMPESA (2016), no qual se faz referência a um preço de 14,56R\$/1000 litros para empreendimentos industriais cujo consumo supera os 10.000 litros/mês.

3.5.2 Tarifa de energia

Considerando o sistema de bandeira tarifária que entrou em vigor a partir do ano de 2015, as tarifas de energia podem ter aumento e redução mensais a depender das condições de geração.

Os valores de referência foram obtidos a partir do reajuste tarifário da Celpe, segundo Resolução Homologatória nº 2067 de 29/04/2016 da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, publicado no Diário Oficial da União.

Para a tarifa convencional em baixa tensão (220/380 v) o valor final da tarifa consumo é de 0,60 R\$/kWh, inclusos os valores de ICMS e PIS/ incorridos pela CELPE após o desconto dos créditos conforme Lei 10.637/2002 e Lei 10.833/2003 e repasse autorizado pela Resolução Homologatória.

Este estudo não entrou no mérito de análise da interferência do sistema de reaproveitamento de água e do telhado verde nos custos de energia. Mas este despêndio é parte integrante dos custos que envolvem a demanda de irrigação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Cálculo da demanda hídrica

Seguindo as orientações dispostas no item 2.6 e as equações 1 e 2, inicialmente foi definida a precipitação efetiva mensal para a cidade do Recife, conforme mostrado na Tabela 10. Os critérios das relações (1) e (2) foram contemplados através da função lógica “se” na quarta coluna.

Tabela 10 - Precipitação efetiva mensal para a região do Recife.

Município/Posto: Recife (Alto da Brasileira)		
Mês	Média Climatológica do mês (mm)	Precipitação efetiva - Média Histórica (mm)
Jan	114,07	93,25
Fev	92,68	78,94
Mar	171,73	124,54
Abr	170,52	124
Mai	277,77	152,78
Jun	392,01	164,2
Jul	292,46	154,25
Ago	169,81	123,67
Set	86,79	74,74
Out	41,48	38,73
Nov	32,55	30,86
Dez	57,58	52,27

OBS: Precipitação acumulada de dezembro de 2016 ainda não estava disponível quando da realização da análise.

Fonte: O Autor.

Com base nas informações disponibilizadas no *site* do INMET (2016) da Tabela 08, bem como se utilizando das equações 4 a 12, a evapotranspiração potencial para a cidade do Recife considerando a estação do Curado é descrita na Tabela 11.

Tabela 11 - Evapotranspiração potencial no Recife.

Mês	T (°C)	Insolação (Horas)	Vento (m/s)	UR (%)	Pressão de Vapor - es (Kpa)	Pressão Parcial de Vapor - ea (KPa)
Jan	26,985	7,900	2,260	74,027	3,562	2,637
Fev	27,197	7,500	2,222	74,595	3,607	2,690
Mar	27,184	6,600	2,002	76,302	3,604	2,750
Abr	26,661	6,200	1,786	79,311	3,495	2,772
Mai	25,783	6,000	1,633	83,057	3,319	2,756
Jun	24,815	5,600	1,697	84,768	3,133	2,656
Jul	24,246	5,100	1,837	83,748	3,028	2,536
Ago	24,251	6,700	2,113	80,863	3,029	2,449
Set	25,206	7,200	2,398	76,209	3,207	2,444
Out	26,122	8,000	2,556	73,091	3,386	2,475
Nov	26,796	8,900	2,534	70,987	3,523	2,501
Dez	25,286	8,200	2,331	66,590	3,222	2,146
γ (constante psicrométrica - Kpa°C ⁻¹):	0,067	as =	0,25	α =	0,23	
		bs =	0,50	σ =	0,000000004903	

Δ (Kpa °C)	Ra (MJ.m ² /dia)	Valores de N	Rs (MJ.m ⁻² /dia)	Rso (MJ.m ⁻² /dia)	Rns (MJ.m ⁻² /dia)	Rnl (MJ.m ⁻² /dia)	Rn (MJ.m ⁻² /dia)	Eto (mm/dia)
0,209	38,900	12,500	22,017	29,175	16,953	4,127	12,826	4,623
0,211	39,000	12,400	21,544	29,250	16,589	3,891	12,698	4,571
0,211	37,900	12,100	19,811	28,425	15,255	3,470	11,785	4,197
0,206	35,100	11,900	17,919	26,325	13,797	3,283	10,514	3,645
0,196	31,900	11,700	16,154	23,925	12,439	3,227	9,212	3,072
0,187	30,000	11,600	14,741	22,500	11,351	3,177	8,174	2,691
0,181	30,700	11,700	14,366	23,025	11,062	3,062	8,000	2,672
0,181	33,400	11,900	17,753	25,050	13,669	3,914	9,755	3,273
0,191	36,600	12,100	20,039	27,450	15,430	4,163	11,268	3,991
0,200	38,400	12,300	22,088	28,800	17,008	4,486	12,521	4,585
0,207	38,800	12,500	23,513	29,100	18,105	4,840	13,265	4,948
0,192	38,700	12,600	22,268	29,025	17,146	5,052	12,094	4,661

Fonte: O Autor com base nos dados do INMET (2016) – Recife.

Com os valores mensais da ETo e considerando a equação 3, os valores encontrados para a evapotranspiração real da cultura em função das condições locais são os da Tabela 12.

Tabela 12 - Cálculo da Evapotranspiração real.

Mês	Pef (mm)	Eto (mm/dia)	Etrc (mm/dia)	Etrc (mm/mês)
Jan	93,249	4,869	3,067	95,082
Fev	78,937	4,603	2,9	84,096
Mar	124,543	4,156	2,618	81,163
Abr	123,997	3,625	2,284	68,521
Mai	152,777	3,177	2,002	62,052
Jun	164,201	2,876	1,812	54,351
Jul	154,246	2,833	1,785	55,322
Ago	123,672	3,325	2,095	64,941
Set	74,736	4,111	2,59	77,69
Out	38,727	4,609	2,904	90,016
Nov	30,858	4,983	3,139	94,179
Dez	52,274	4,82	3,037	94,132

Fonte: O Autor.

Com os parâmetros imperativos para o cálculo da demanda hídrica de irrigação, a equação 13 foi utilizada e a súmula dos resultados para o telhado verde se encontra nas Tabelas 13 e 14. A tabela 13 mostra a demanda hídrica da vegetação para o $K_c = 0,94$, valor médio atingido pela grama esmeralda, e a Tabela 14 para o $K_c = 0,70$.

Tabela 13 - Demanda hídrica de irrigação mensal para um coeficiente de cultura $K_c = 0,94$.

Mês	Pef (mm)	Eto (mm/dia)	Etrc (mm/dia)	Etrc (mm)	Demandas Hídricas Mensais do Telhado Verde (m³/s)	Volume Mensal Necessário (m³)
Jan	93,249	4,623	3,911	121,252	0,000035	91,693
Fev	78,937	4,571	3,867	112,153	0,000042	108,764
Mar	124,543	4,197	3,55	110,059	-0,000018	-47,427
Abr	123,997	3,645	3,083	92,504	-0,00004	-103,118
Mai	152,777	3,072	2,599	80,576	-0,000091	-236,415
Jun	164,201	2,691	2,277	68,3	-0,000121	-314,019
Jul	154,246	2,672	2,261	70,076	-0,000106	-275,606
Ago	123,672	3,273	2,769	85,835	-0,000048	-123,893
Set	74,736	3,991	3,377	101,301	0,000034	86,986
Out	38,727	4,585	3,879	120,246	0,000103	266,923
Nov	30,858	4,948	4,186	125,569	0,00012	310,121
Dez	52,274	4,661	3,943	122,23	0,000088	229,064
Ks =	0,9	Coeficiente de Molhamento				
Ef =	0,85	Eficiência do Método de Irrigação				
α =	1	Fator de Práticas Agrícolas				
Kc =	0,94	Coeficiente de Cultura				
AI =	0,002876	Área Irrigada do Telhado (km ²)				

Fonte: O Autor.

Tabela 14 - Demanda hídrica de irrigação mensal para um coeficiente de cultura $K_c = 0,70$.

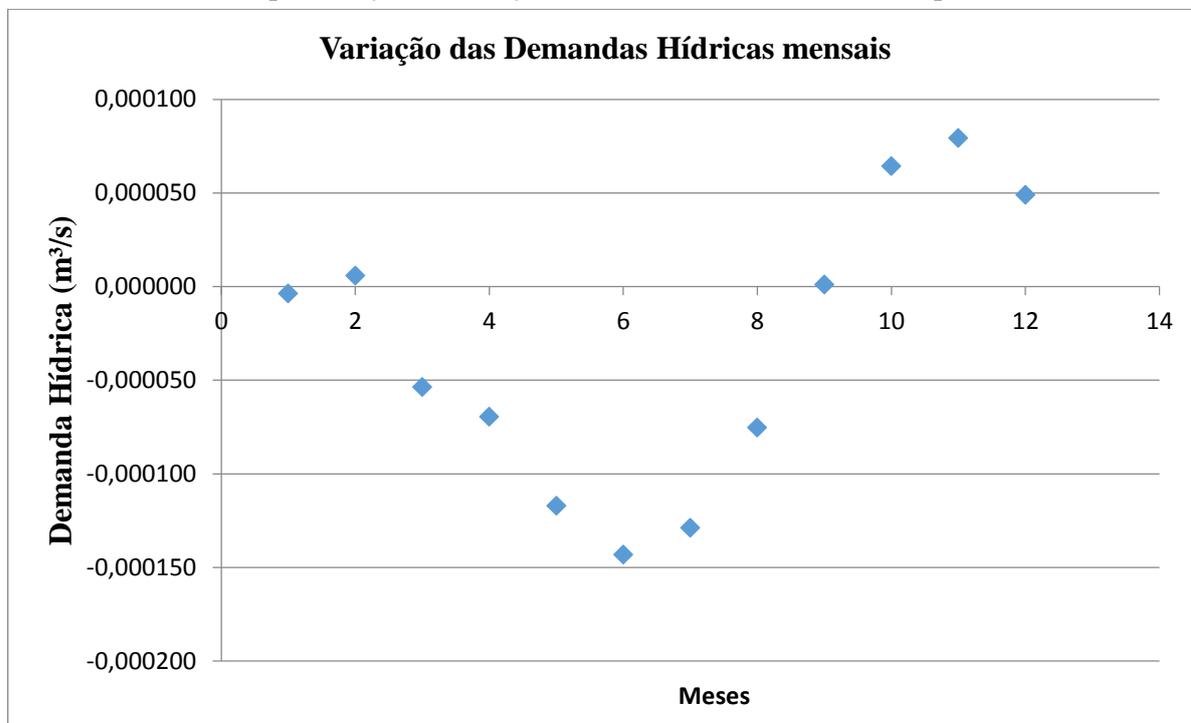
Mês	Pef (mm)	Eto (mm/dia)	Etrc (mm/dia)	Etrc (mm)	Demandas Hídricas Mensais do Telhado Verde (m³/s)	Volume Mensal Necessário (m³)
Jan	93,249	4,623	2,913	90,294	-0,000004	-9,675
Fev	78,937	4,571	2,88	83,518	0,000006	15,002
Mar	124,543	4,197	2,644	81,959	-0,000054	-139,438
Abr	123,997	3,645	2,296	68,886	-0,00007	-180,453
Mai	152,777	3,072	1,936	60,003	-0,000117	-303,778
Jun	164,201	2,691	1,695	50,862	-0,000143	-371,118
Jul	154,246	2,672	1,683	52,184	-0,000129	-334,19
Ago	123,672	3,273	2,062	63,919	-0,000075	-195,652
Set	74,736	3,991	2,515	75,437	0,000001	2,297
Out	38,727	4,585	2,889	89,545	0,000064	166,396
Nov	30,858	4,948	3,117	93,509	0,000079	205,144
Dez	52,274	4,661	2,936	91,023	0,000049	126,878
Ks =	0,9	Coeficiente de Molhamento				
Ef =	0,85	Eficiência do Método de Irrigação				
α =	1	Fator de Práticas Agrícolas				
Kc =	0,7	Coeficiente de Cultura				
AI =	0,002876	Área Irrigada do Telhado (km ²)				

Fonte: O Autor.

Os números encontrados mostram uma tendência esperada para a necessidade de complementação hídrica do telhado. Como a demanda hídrica em sua formulação faz uma comparação entre a precipitação efetiva e a evapotranspiração real (ETrc-Pef), os valores negativos apontam para aqueles meses em que os volumes de chuva são superiores ao volume demandado pela planta para que ela realize suas atividades funcionais. O contrário ilustra os valores positivos. Observou-se, então, que o volume adicional requerido para o reservatório acontece exatamente nos meses mais secos da região: de setembro a fevereiro, para um $K_c = 0,94$ e setembro a dezembro com inclusão do mês de fevereiro para um $K_c = 0,7$. O interessante de se observar é que o mês de novembro é o mais seco nos dois casos, o que condiz com o esperado. Os demais meses dispõem de um aporte natural de água suficiente para o que se necessita para manutenção da vegetação. O Gráfico 2 mostra o comportamento

lógico destas demandas mensais, com valores positivos para meses sem demanda hídrica adicional e com valores negativos para aqueles meses mais secos com necessidade de irrigação.

Gráfico 2 - Apresentação da variação das demandas hídricas mensais para $K_c = 0,7$.



Fonte: O Autor.

4.2. Comparativo entre o volume dimensionado x volume real

Toda a memória de cálculo utilizada para definição dos resultados está apresentada nas Tabelas 15 e 16, conforme rotina explicada no item 3.4. O dimensionamento do reservatório foi feito com objetivo de armazenar a quantidade de água para atender à demanda da vegetação e não para coletar toda a vazão de água incidente.

Tabela 15 - Dimensionamento do reservatório inferior pelo método de Rippl para $K_c=0,7$.

Meses	P (mm)	Dt (m ³)	A (m ²)	Qc (m ³)	Qsr (m ³)	Qt (m ³)	St (m ³)
Jan	93,25	-9,675	2876	80,46	82,01	162,47	0,00
Fev	78,94	15,002	2876	68,11	82,01	150,12	0,00
Mar	124,54	-139,438	2876	107,46	82,01	189,47	0,00
Abr	124,00	-180,453	2876	106,98	82,01	188,99	0,00
Mai	152,78	-303,778	2876	131,82	82,01	213,83	0,00
Jun	164,20	-371,118	2876	141,67	82,01	223,68	0,00
Jul	154,25	-334,190	2876	133,08	82,01	215,09	0,00
Ago	123,67	-195,652	2876	106,70	82,01	188,71	0,00
Set	74,74	2,297	2876	64,48	82,01	146,49	0,00
Out	38,73	166,396	2876	33,41	82,01	115,42	50,97
Nov	30,86	205,144	2876	26,62	82,01	108,63	96,51
Dez	52,27	126,878	2876	45,10	82,01	127,11	0,00
C=	0,3	Volume do Reservatório (m ³) - V			147,48		

Fonte: O Autor.

Tabela 16 - Dimensionamento do reservatório inferior pelo método de Rippl para $K_c=0,94$.

Meses	P (mm)	Dt (m ³)	A (m ²)	Qc (m ³)	Qsr (m ³)	Qt (m ³)	St (m ³)
Jan	93,25	91,693	2876	80,46	82,01	162,47	0,00
Fev	78,94	108,764	2876	68,11	82,01	150,12	0,00
Mar	124,54	-47,427	2876	107,46	82,01	189,47	0,00
Abr	124,00	-103,118	2876	106,98	82,01	188,99	0,00
Mai	152,78	-236,415	2876	131,82	82,01	213,83	0,00
Jun	164,20	-314,019	2876	141,67	82,01	223,68	0,00
Jul	154,25	-275,606	2876	133,08	82,01	215,09	0,00
Ago	123,67	-123,893	2876	106,70	82,01	188,71	0,00
Set	74,74	86,986	2876	64,48	82,01	146,49	0,00
Out	38,73	266,923	2876	33,41	82,01	115,42	151,50
Nov	30,86	310,121	2876	26,62	82,01	108,63	201,49
Dez	52,27	229,064	2876	45,10	82,01	127,11	101,95
C=	0,3	Volume do Reservatório (m ³) - V			454,94		

Fonte: O Autor.

Em que:

- P (mm) = Chuva média mensal;
- Dt (m³) = Demanda mensal de água;
- A (m²) = Área de captação do telhado verde;

- Q_c (m^3) = Volume de chuvas aproveitável mensal;
- Q_{sr} (m^3) = Volume de água no sistema de refrigeração;
- Q_t (m^3) = Volume total aproveitável mensal;
- St (m^3) = Volume de água a reservar.

Para as demandas positivas, há o comparativo entre o volume necessário e o volume disponível para irrigação. O restante é direcionado para o reservatório, que terá sua capacidade definida pelo somatório dos volumes positivos apresentados.

Desta forma, para o $K_c = 0,7$, o volume final que precisa dispor o reservatório para abastecer a demanda da vegetação é de:

$$St1 = 50,97 + 96,51 = 147,48 m^3$$

Para um $K_c = 0,94$, este volume passa a ser de:

$$St2 = 151,5 + 201,49 + 101,95 = 454,94 m^3$$

Os números mostram que a fase crítica de desenvolvimento da cultura necessita de uma quantidade de água maior quando comparada aos demais estágios.

Após cálculo estimativo do volume suportado pelo reservatório, pode-se inferir que, tendo o volume real sido mensurado sem considerar a porção de cobertura vegetal, houve um superdimensionamento da sua estrutura se comparado à análise apresentada com o $K_c = 0,7$ e haverá uma deficiência de disponibilidade de água para a planta quando se K_c for de 0,94. A justificativa recai sobre o fato de a concepção do teto verde ter vindo junto a uma insatisfação estética apresentada por uma torre com vista para uma vasta área de concreto. Isto significa que a escolha do telhado verde não surgiu junto com o projeto inicial do empreendimento e, desta forma, o dimensionamento inicial do reservatório não previu isto.

Sob o mesmo ponto, percebeu-se que o volume de contribuição do sistema de refrigeração não havia sido estipulado e, ainda assim, o volume final do reservatório ponderado neste estudo continua sendo inferior ao real para a primeira consideração.

Para os volumes excedentes de água ocorridos nos meses muito chuvosos, há o direcionamento destas águas para a rede de drenagem que encaminhará este contingente para a rede pública. Não seria interessante dimensionar o reservatório para comportar todo o

volume de chuva e assim acumulá-lo, pois o dimensionamento e execução do reservatório seriam onerosas ao projeto, tendo em vista a grande porção de água remanescente neste período.

Foi realizada uma análise iterativa com o comando de Teste de Hipóteses do Excel, a fim de assegurar o volume final ao qual se chegou com o método de Rippl. Neste teste, defini-se como meta (limite) chegar ao final do mês de Dezembro com volume zero no reservatório, sendo esta uma condição ótima. Como resultado, em um mês precedente ao primeiro mês em que há demanda de água pela vegetação, o reservatório precisa estar abastecido com seu volume total. Nos meses subsequentes, em que também há necessidade hídrica, o volume restante do reservatório é dado por:

$$St_i = (St_{i-1}) - Dt + Qt$$

Os resultados estão mostrados nas Tabelas 17 e 18.

Tabela 17 - Análise iterativa para o volume do reservatório com $K_c = 0,70$.

Q_c (m ³)	Q_{sr} (m ³)	Q_t (m ³)	St (m ³)	Análise Iterativa
80,46	82,01	162,47	0,00	-
68,11	82,01	150,12	0,00	-
107,46	82,01	189,47	0,00	-
106,98	82,01	188,99	0,00	-
131,82	82,01	213,83	0,00	-
141,67	82,01	223,68	0,00	-
133,08	82,01	215,09	0,00	-
106,70	82,01	188,71	0,00	-
64,48	82,01	146,49	0,00	454,94
33,41	82,01	115,42	50,97	403,97
26,62	82,01	108,63	96,51	307,46
45,10	82,01	127,11	0,00	307,69
Volume do Reservatório (m ³) - V	147,48			

Fonte: O Autor.

Tabela 18 - Análise iterativa para o volume do reservatório com $K_c = 0,94$.

Qc (m ³)	Qsr (m ³)	Qt (m ³)	St (m ³)	Análise Iterativa
80,46	82,01	162,47	0,00	-
68,11	82,01	150,12	0,00	-
107,46	82,01	189,47	0,00	-
106,98	82,01	188,99	0,00	-
131,82	82,01	213,83	0,00	-
141,67	82,01	223,68	0,00	-
133,08	82,01	215,09	0,00	-
106,70	82,01	188,71	0,00	-
64,48	82,01	146,49	0,00	454,94
33,41	82,01	115,42	151,50	303,44
26,62	82,01	108,63	201,49	101,95
45,10	82,01	127,11	101,95	0,00
Volume do Reservatório (m ³) - V	454,94			

Fonte: O Autor.

Com os números apresentados, chegou-se a uma redução de 48,07% no volume para a primeira configuração, promovendo reduções geométricas e uma economia financeira proporcional a esta diminuição, conforme Tabela 19. Para a configuração mais crítica da grama, fez-se um comparativo com o volume real do reservatório, para se estimar o quanto de água excedente seria necessária para irrigar a vegetação nos meses mais secos. Na Tabela 20 está ilustrada a comparação entre valores.

Tabela 19 - Percentagem de redução dos custos e das propriedades geométricas do reservatório para $K_c = 0,7$.

Volume Real (m ³)	Volume Calculado (m ³)	Percentagem de Redução (%)
284,00	147,48	48,07

Fonte: O Autor.

Tabela 20 - Volume extra necessário nos meses secos para a segunda configuração.

Meses	P (mm)	Dt (m³)	A (m²)	Qc (m³)	Qsr (m³)	Qt (m³)	St (m³)	Volume Extra Necessário (m³)
Jan	93,25	91,693	2876	80,46	82,01	162,47	0,00	-
Fev	78,94	108,764	2876	68,11	82,01	150,12	0,00	-
Mar	124,54	-47,427	2876	107,46	82,01	189,47	0,00	-
Abr	124,00	-103,118	2876	106,98	82,01	188,99	0,00	-
Mai	152,78	-236,415	2876	131,82	82,01	213,83	0,00	-
Jun	164,20	-314,019	2876	141,67	82,01	223,68	0,00	-
Jul	154,25	-275,606	2876	133,08	82,01	215,09	0,00	-
Ago	123,67	-123,893	2876	106,70	82,01	188,71	0,00	-
Set	74,74	86,986	2876	64,48	82,01	146,49	0,00	284,00
Out	38,73	266,923	2876	33,41	82,01	115,42	151,50	132,50
Nov	30,86	310,121	2876	26,62	82,01	108,63	201,49	-68,99
Dez	52,27	229,064	2876	45,10	82,01	127,11	101,95	-170,94
C=	0,3	Volume do Reservatório (m³) - V			454,94			

Fonte: O Autor.

Seria preciso um volume extra de, aproximadamente, 69 m³ de água para o mês de novembro e de 170,94 m³ para o mês de dezembro.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos e projetos acerca da viabilidade de implantação da cobertura verde mostraram ser esta uma alternativa eficiente e oportuna não só nos requisitos estéticos, mas também aportando diversos benefícios ao ambiente e à população no entorno da construção. Esta foi uma conclusão que justificou a implantação do telhado verde por parte dos empreendedores.

O volume total encontrado para o reservatório inferior se mostra mais uma vantagem permitida pela implantação de uma cobertura vegetal. Conforme apresentado, a vegetação tem um elevado potencial de retenção de água, já que parte é utilizada pelas plantas para manutenção de suas próprias atividades, com a preocupação de não limitar seu crescimento e sua produção sob as condições climáticas locais.

Desta forma, como parte expressiva da precipitação fica retida, o volume, cuja destinação final é o reservatório, é bastante reduzido para um $K_c = 0,7$, quando comparado à capacidade real (284 m^3). Na segunda configuração estudada, em que $K_c = 0,94$, percebe-se que há um aumento expressivo no volume do reservatório. Porém, a análise financeira mostra que, mesmo para o volume do reservatório real, há uma atenuação satisfatória da porção de água dependente da Compesa.

O cálculo da demanda hídrica de irrigação apontou para uma classificação de umidade considerável da região, já que são poucos os meses em que se demandará volume extra acumulado no reservatório. Isto significa que a precipitação efetiva para os meses de inverno satisfazem de maneira eficiente a necessidade da vegetação.

Os benefícios obtidos com o emprego da técnica incorrem não só na redução do impacto financeiro no condizente à implantação da estrutura do reservatório, mas também no que tange ao reaproveitamento das águas para irrigação do telhado, reduzindo a dependência da concessionária.

Da mesma forma que o empreendimento é acometido por inúmeras vantagens sustentáveis e econômicas, a região na qual o teto verde está instalado também experimenta as mudanças. Os benefícios descritos ao longo do estudo serão válidos para este cenário. Espera-se, portanto, uma significativa redução nas vazões de pico experimentadas no local, um aumento da biodiversidade, melhoria estética e melhor qualidade do ar, influenciando no microclima local.

Para complementação do estudo, indica-se fazer uma análise experimental do comportamento da vegetação do telhado, observando o tempo decorrido entre as fases de desenvolvimento folicular e os valores de K_c para cada um deles. Com isto, pode-se inferir com mais precisão a demanda hídrica variável ao longo do desenvolvimento da planta conforme características mensais do local. Da mesma forma, seria possível dimensionar o reservatório para armazenagem de toda a água que incide no telhado e não é absorvida pela vegetação, podendo ponderar os custos financeiros para implementação de grandes reservatórios e o custo mensal de água excendente que seria necessária da concessionária.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, C.. **Telhados verdes**. 2009. Disponível em: <http://obviousmag.org/archives/2009/06/telhados_verdes.html>. Acesso em: 23 jun. 2016.

ALENCAR, L. P; SEDIYAMA, G. C; MANTOVANI, E, C.. Estimativa da evapotranspiração de referência (Eto Padrão Fao), para Minas Gerais, na ausência de alguns dados climáticos. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.35, n.1, p.39-50, jan./fev 2015.

ANA - Agência Nacional de Águas. **Conservação e Reuso da Água em Edificações**. São Paulo: Prol Editora Gráfica, jun. 2005. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2006/ConservacaoEReusoDaAguaEdificacoes.pdf>>. Acesso em: 05 ago. 2016.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Homologatória N° 2067/2016**. Recife, abril de 2016. Disponível em: <<https://lojavirtual.compesa.com.br:8443/gsan/exibirConsultarEstruturaTarifariaPortalAction.do>>. Acesso em: 17 ago. 2016.

APAC - Agência Pernambucana de Águas e Climas. **Acumulado Mensal de Precipitação**. Recife, 2016. Disponível em: < <http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/>>. Acesso em: 08 set. 2016.

ARAÚJO, S. R.. **As funções dos telhados verdes no meio urbano, na gestão e no planejamento de recursos hídricos**. Soropédica, RJ, 2007.p.5.

ARAÚJO, P. R.; TUCCI, C. E. M.; GOLDENFUM, J. A.. **Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 5. Jul/Set , 2000.

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

BARBOSA, A. R. J. **Escoamento Superficial - Elementos de Hidrologia Aplicada**. P. 112. 2014.

BELL, R.; BERGHAGE, R.; DOSHI, H.; GOO, R.; HITCHCOCK, D.; LEWIS, M.; LIPTAN, T.; LIU, K.; MCPHERSON, G.; NOWAK, D.; PECK, S.; BARTH, K. S.; SONNE, J.; TAUBE, B.; VELAZQUEZ, L.; WOLF, K.; YARBROUGH, J.; ZALPH, B.. Green Roofs. In: WONG, E. (comp.). **Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies**. [S. l.: s. n.], out. 2008, cap. 3.

BERNDTSSON, J. C.. Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. **Ecological Engineering**, [Amsterdam]: Elsevier, v. 36, p. 351-360, 2009.

BRASIL, Lei Nº 10.637/2002, de 30 de dezembro de 2002. Dispõe sobre a não-cumulatividade na cobrança da contribuição para os Programas de Integração Social (PIS) e de Formação do Patrimônio do Servidor Público (Pasep), nos casos que especifica; sobre o pagamento e o parcelamento de débitos tributários federais, a compensação de créditos fiscais, a declaração de inaptidão de inscrição de pessoas jurídicas, a legislação aduaneira, e dá outras providências. Conversão da MPv nº 66, de 2002 Produção de efeito.

BRASIL, Lei Nº 10.833/2003, de 29 de dezembro de 2003. Altera a Legislação Tributária Federal e dá outras providências. Conversão da MPv nº 135, de 2003.

CATUZZO, H.. **Telhado Verde: Impacto Positivo na Temperatura e Umidade do Ar**. O caso da cidade de São Paulo. São Paulo – São Paulo. Universidade de São Paulo – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, 2013.

CLIMA DO RECIFE. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/location/5069/>. Acesso em: 28 dez. 2016.

COBERTURAS VERDES: **Revista Técnica**. Rio de Janeiro: Ed. Pini, n. 148, Julho de 2009. 93p.

COMPESA - Companhia Pernambucana de Saneamento. **Resolução ARPE Nº 107/2016**. Recife, fevereiro de 2016. Disponível em: <<https://lojavirtual.compesa.com.br:8443/gsan/exibirConsultarEstruturaTarifariaPortalAction.do>>. Acesso em: 17 ago. 2016.

CUNHA, A. P. S. R.. **Experimento Hidrológico para Aproveitamento de Águas de Chuva Usando Coberturas Verdes Leves (CVL)**. Processo FAPESP: 03/06580-7. Universidade de São Paulo (USP). Escola de Engenharia de São Carlos – EESC. Departamento de Hidráulica e Saneamento - SHS. Núcleo Integrado de Bacias Hidrográficas. São Carlos, 2004.

DDC - Department Of Design And Construction. **Green Roofs – Creating a More Sustainable New York City, 2007**. Disponível em :<<http://www1.nyc.gov/site/ddc/resources/features/july-2016-green-roofs.page>>. Acesso em: 16 nov. 2016.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Irrigação: Sistemas e Manejo, 2005**. Disponível em: <<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Uva/UvasSemSementes/irrigacao.htm>>. Acesso em: 02 out 2016.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Irrigação, 2007**. Disponível em: <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Beringela/Beringela_Solanum_melongena_L/irrigacao.html>. Acesso em: 02 out 2016.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema de Produção do Milho e Sorgo - Irrigação, 2009**. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_5_ed/glossario.htm>. Acesso em: 02 out 2016.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema de Produção da Melancia - Irrigação, 2010**. Disponível em: <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Beringela/Beringela_Solanum_melongena_L/irrigacao.html>. Acesso em: 02 out 2016.

EPA - Environmental Protection Agency, 1998. **Stream Corridor Restoration – principles, processes and practices**. Environmental Protection Agency, EUA.

FENDRICH, R; IWASA, O. Y.. 1998. **Controle de Erosão Urbana**. IWASA, O.Y.; FENDRICH, ROBERTO. Controle de erosão urbana. In: OLIVEIRA, A.M.S. & BRITO, S.N.A. (Eds.). Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 1998. Capítulo 16, páginas 271-281.

FERREIRA, C. A.; MORUZZI, R. B.. Considerações sobre a Aplicação do Telhado Verde para Captação de Água de Chuva em Sistemas de Aproveitamento para Fins não Potáveis. IV Encontro Nacional e II Encontro Latino-Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, **Anais..** Campo Grande – MS, 10 p., 2007.

FERREIRA, D. F.. Trabalho de Conclusão de Curso. **Aproveitamento De Águas Pluviais E Reuso De Águas Cinzas Para Fins Não Potáveis Em Um Condomínio Residencial Localizado Em Florianópolis – Sc.** Florianópolis, p. 12-50, 2005.

FGV - Fundação Getúlio Vargas. **Perfil da Cadeia Produtiva da Construção Civil e da Indústria de Materiais.** São Paulo, FGV Projetos. 2006.

FREITAS, R. M.. **Entre mitos e limites: as possibilidades do adensamento construtivo face à qualidade de vida no ambiente urbano.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Arquitetura. Tese (Doutorado – Programa de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura). 280 p.: il. Porto Alegre – RS, 2005.

GARCIA, M. C. M.. **Climatologia urbana.** Barcelona: Universitat de Barcelona, 71p, 1999.

GARRIDO NETO, P. S.. Trabalho de Conclusão de Curso. **Telhados Verdes Associados Com Sistema De Aproveitamento De Água De Chuva: Projeto De Dois Protótipos Para Futuros Estudos Sobre Esta Técnica Compensatória Em Drenagem Urbana E Prática Sustentável Na Construção Civil.** Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Universidade Federal do Rio de Janeiro – Escola Politécnica, 2012.

GETTER, K. L.; ROWE, D. B. The Role of Extensive Green Roofs in Sustainable Development. **Hortscience**, 41(5), 2006. p.1276–1285.

GOLDENFUM, J. A.. **Reaproveitamento de águas pluviais.** II Simpósio Nacional sobre o Uso da Água na Agricultura. Passo Fundo, mar. 2006.

HOLANDA, Marcos. **Aproveitamento de água nas edificações.** Pesqueira, Pernambuco, 2015.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **CENSO Demográfico**, 2010. Disponível em: <http://www2.recife.pe.gov.br/servico/ilha-do-leite>. Acesso: 26 mai. 2016.

IBIAPINA, M. B.; SILVA, V. G.; ILHA, M. S. 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. **Anais. SBCS10 - III Simpósio Brasileiro de Construção Sustentável**, São Paulo, 2010.

IGRA - International Green Roof Association. Green Roof Types. Disponível em: <<http://www.igra-world.com/>>. Acesso: 06 Jul. 2016.

INMET - Instituto Nacional De Meteorologia -. **Normais Climatológicas, 2016**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesConvencionais>>. Acesso em: 30 nov 2016.

JOHNSTON, J. ; NEWTON, J. (1993), *apud* CATUZZO, Humberto. **Building green: a guide to using plants on roofs, walls and pavements**. 1993 London Ecology Unit, 94pp.

KÖHLER, M.; SCHMIDT, M.; GRIMME, F. W.; LAAR, M.; GUSMÃO, F.. **Urban Water Retention by Greened Roofs in Temperate and Tropical Climate**. Technology Resource Management & Development – Scientific Contributions for Sustainable Development, vol.2. p.151 - 162. In: 38th IFLA (Internacional Federation of Landscape Architects) World Congress. Singapore 2001

KÖHLER, M.; SCHMIDT, M.. **Study of a Extensive “Green Roofs” in Berlin**. Part III: Retention of Contaminants. Berlin, 2003. Disponível em: <<http://www.roofmeadow.com/Water%20Quality%20Benefits.pdf>> Acesso em 14 set. 2016.

KÖHLER, M.; SCHMIDT, M.; SICKERMANN, J.. **Greened Roofs and the Technique of Water Harvesting; a Synergistic Combination**, sd, 2001. Disponível em: <<http://www.aguadechuva.hpg.ig.com.br/3simposio/pdf/062-2001%20.pdf>> Acesso em 14 set. 2016.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R.. **Eficiência energética na arquitetura**. Ilustrações de Luciano Dutra. São Paulo: P.W., 1997. 192p.

LEAL, G. C. S. G., FARIAS. M. S. S.; ARAÚJO, A. F.. **O processo de industrialização e seus impactos no meio ambiente urbano**. 2008.

LIMA, M. O.; VIEIRA, V. C. B.; TEIXEIRA, M. A. C. M. T. Uso de geotecnologias para análises da cobertura vegetal urbana. Revista MundoGeo – On-line. Acesso em: http://www.mundogeo.com.br/revistas-interna.php?id_noticia=13552 . Curitiba, 2009

LIU, K.. **Engineering Performance of Rooftop Gardens Through Field Evaluation**. [S.l.: s.n.]. Canada, february 2004.

MacMILLAN, M. **York University Rooftop Garden Stormwater Quantity and Quality Performance Monitoring Report**, 2004.

MATTOS, C. S. Trabalho de Conclusão de Curso. **Desempenho Térmico de um Telhado Verde inserido em região semiárida**. Caruaru – Pernambuco. Universidade Federal de Pernambuco - Centro Acadêmico do Agreste, 2015.

MENTENS, J.; RAES, D.; HERMY, M.. **Green Roofs as a Tool for Solving the Rainwater Runoff Problem in the Urbanized 21st Century**. Landscape and Urban Planning, 77(3), 217-226, 2006.

MINKE, G.. Techos verdes. Planificación, ejecución, consejos prácticos. Uruguai: **EcoHabitar**, 2005, 86p.

MOCK, T. E.. Construyendo un bosque urbano sostenible. **Revista AU – Arquitetura e Urbanismo**. p. 30-32. Dezembro de 2005.

MORAIS, C.; RORIZ, M.. Thermal Performance of Green Roof in the City of São Carlos (SP), Southeast of Brazil. In: Conference on Passive and Low Energy Architecture, 22., 2005, Beirute. **Anais..**, Beirute: [S.l.: s.n.], 2005. p. 87-92.

MOTA, T. R.; OLIVEIRA, D. H.; INADA, P.. **Utilização Da Água De Sistemas De Ar Condicionado Visando O Desenvolvimento Sustentável**. 10º Fórum De Extensão e Cultura da Uem (Universidade Estadual de Maringá), 2004.

NUCCI, J.C.. **Qualidade ambiental e adensamento urbano**. São Paulo: Humanitas/FAPESP, 2001, 236p.

OBERNDORFER, E.; LUNDHOLM, J.; BASS, B.; COFFMAN, R. R.; DOSHI, H., DUNNETT, N.; GAFFIN, S.; KÖHLER, M.; LIU, K. Y.; ROWE, B.. Green Roofs as Urban

Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services. *BioScience*, [S. l.], v. 57, n. 10, p. 823-833, nov. 2007.

OLIVEIRA, E. W. N.; SILVA, L. P.. **Telhados verdes para habitações de interesse social: retenção das águas pluviais e conforto térmico**. 2009. Dissertação (Mestrado em Gestão Sustentável de Recursos Hídricos)-Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, 2009. 87p. Disponível em: <<http://www.peamb.eng.uerj.br/producao.php?id=205>>. Acesso em 15 set. 2016.

OLIVEIRA, T. H.. Mudança Espaço Temporal do Uso e Cobertura do Solo e Estimativa do Balanço de Energia e Evapotranspiração Diária no Município do Recife-Pe. **Revista Brasileira de Geografia Física**. V. 06, n. 06,(2013) 1598-1616.

PARIZOTTO FILHO, S.. **Telhado Vegetado**. Separata de: Casa eficiente: Bioclimatologia e desempenho térmico / editores: Roberto Lamberts... [et al.]. – Florianópolis : UFSC/LabEEE; 2010.p. 89-123.

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. 2003, 5-78 p.

PIERGILI, Alexander Van Parys. **Por que utilizar telhados verdes?** São Paulo. 2007. Disponível em: <http://sitiogralhaazul.net/dev15/index.php?option=com_content&view=article&id=42:por-que-utilizar-telhados-verdes&catid=30:design-ecologico>. Acesso em: 29 set. 2016.

POMPÊO, Cesar Augusto. **Drenagem Urbana Sustentável**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH. Santa Catarina, Paraná, v. 5, n. 1, Jan/Mar 2000, p. 15-23

PROENÇA, Lúcio Costa; GHISI, Enedir. **Estimativa de usos finais de água em quatro edifícios de escritórios localizados em Florianópolis**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 9, n. 3, p. 95-108, jul./set. 2009.

PROSAB - Programa de Pesquisas em Saneamento. **Anexo I, Texto completo do PROSAB, 2006**. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/arquivos_legados/fundos_setoriais/acao_transversal/documentos/Texto_completo_PROSAB.PDF>. Acesso em: 17 out 2016.

RANK, Liliane. **Relatório prospectivo setorial: 2009**. Brasília: Centro de gestão e estudos estratégicos. Brasília, 2009. 210 p, 104: il.

RECIFE, Lei Nº 18.112 /2015, de 12 de janeiro de 2015. Dispõe sobre a melhoria da qualidade ambiental das edificações por meio da obrigatoriedade de instalação do "Telhado Verde" e construção de reservatórios de acúmulo ou de retardo do escoamento das águas pluviais para a rede de drenagem. Prefeitura do Recife, PE. Art. 1º ao 10º.

RESENDE, M.; ALVES, V. M. C.; FRANÇA, G. E.; MONTEIRO, J. A. Manejo de irrigação e fertilizantes na cultura do milho. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 14, n. 164, p. 26-34, 1990.

REZENDE, S. C.; HELLER, L. O saneamento no Brasil: políticas e interfaces. 2 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2008. 387 p.

RIO AVE. **Telhado verde do empresarial Charles Darwin**. Recife, 2015.

RIO AVE, 2014. **Memorial descritivo - Pavimentos. Projeto executivo Ar condicionado. Revisão 03**.

RODRIGUEZ, R. The History of Green Roof Technology. 2006, *apud* FERREIRA, César Argentieri; MORUZZI, Rodrigo Braga.

ROBERTSON, S. *et al.* (2005). **Stanford University's Green Dorm Water System Management Project**. Stanford, Califórnia, 2005. Disponível em: <http://sustainability.stanford.edu/greendorm/involvement/coursework/CEE179_exterior_LEPfinalReport.doc> Acesso em 10 out. 2006.

ROLA, S.. **Telhados verdes: pequenos pulmões para grandes cidades**, 2005. Disponível em: <www.dw-world.de/dw/article/0,,1772334_page_2,00.html>. Acesso em: 15 jun. 2016.

SILVA, N. C.. Trabalho de Conclusão de Curso. Telhado Verde: **Sistema Construtivo de maior eficiência e menor impacto ambiental**. Belo Horizonte, Minas Gerais. Universidade Federal de Minas Gerais - Escola de Engenharia Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, 2011.

SILVA, D. F.. **Análises quantitativa e qualitativa do crescimento e Desenvolvimento da grama-batatais e grama-esmeralda em Diferentes lâminas de irrigação.** Minas Gerais: Viçosa, 2004.p. 33-35.

SMITHSONIAN METEOROLOGICAL TABLES, **New York State College of Agriculture At Cornell University Ithaca**, N. Y. Ed. Quatro Revisada, v. 69, n. 2493, 1918.

SPANGENBERG, J.. **Melhoria do clima urbano nas metrópoles tropicais - Estudo de caso.** 2004. Disponível em: < [http:// www.basis id.de /site2006/ science/01 _ Spangenberg _ IMPROVEMENT%20OF%20URBAN%20MICROCLIMATE%20IN%20TROPICAL%20METROPOLIS.pdf](http://www.basis.id.de/site2006/science/01_Spangenberg_IMPROVEMENT%20OF%20URBAN%20MICROCLIMATE%20IN%20TROPICAL%20METROPOLIS.pdf)> – Site traduzido. Acesso em: 30 jun 2016.

TEEMUSK, A., MANDER, U., Rainwater Runoff Quantity and Quality Performance from a Greenroof: The Effects of Short-Term Events. **Ecological Engineering**. Eng, 30, 271-277, 2007.

TEIXEIRA, P. C., ILHA, M. S. O., REIS, R. P. A.. Análise da qualidade da água de chuva drenada por coberturas verdes: Estudo piloto. **Anais**. XII Simpósio Nacional de Sistemas Prediais, Passo Fundo, out. 2011.

TOLDERLUND, L.. **Design Guidelines and Maintenance Manual for Green Roofs in the Semi-Arid and Arid West.** [S. l.: s.n.], 2010, 59 p.

TOMAZ, P. “Telhado Verde”. In: TOMAZ, P. Org(s). **“Best Management Practices”**. [S.l.]: TOMAZ, P., 2005

TOMAZ, P. 2008. Cobertura Verde. 2008. In: **Curso de manuseio de águas pluviais.** Capítulo 51.

TOSTA, A. L. **Tolerância Ao Défice Hídrico E Eficiência Do Uso De Água Em Genótipos De Cebola.** Goiana, Goiás. 2014.

TUCCI, C.. Coeficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos, ABRH**, Porto Alegre, RS. 2000. v.5, n.1, p. 61-68.

UGEDA, J. C.; AMORIM, M. C. C. T.. **Indicadores ambientais e planejamento urbano.** Caderno Prudentino de Geografia, n. 31, v. 2, p. 5-35, jul/dez, 2009.

VELAZQUEZ, L. S. **The Greenroof & Greenwall Projects Database. Vancouver Public Library (Library Square Building)**. 2008. Disponível em: <<http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=29>>. Acesso em: 05 ago. 2016

VILELA, Soraia. **Telhados verdes: pequenos pulmões para grandes cidades**, 2005. Disponível em: <www.dw-world.de/dw/article/0,,1772334_page_2,00.html>. Acesso em: 14 ago. 2016.

WIDMOSER, P. **A discussion on and alternative to Penman–Monteith equation. Agricultural Water Management**, Amsterdam, n. 96, p. 711–721, 2009.

WOLF, K. L. Economia y valor público de los bosques urbanos. *Revista AU – Arquitetura e Urbanismo*. p. 32-35. Dezembro de 2005.

WRIGHT, L. T.; HEANEY, J. P.. **Design of Distributed Stormwater Control and Re-use Systems. Stormwater Collection Systems Design Handbook**. New York: McGraw-Hill, ISBN: 0-07-135471-9., 2001.