

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

Otávio Horn Oliveira

**ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE TELHADOS VERDES COMO
ALTERNATIVA PARA DETENÇÃO PLUVIAL EM PORTO
ALEGRE**

Porto Alegre
Dezembro 2019

OTÁVIO HORN OLIVEIRA

**ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE TELHADOS VERDES COMO
ALTERNATIVA PARA DETENÇÃO PLUVIAL EM PORTO
ALEGRE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Comissão de
Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia
da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos
requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientadora: Cristiane Sardin Padilla de Oliveira

Porto Alegre
Dezembro 2019

OTÁVIO HORN OLIVEIRA

**ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE TELHADOS VERDES COMO
ALTERNATIVA PARA DETENÇÃO PLUVIAL EM PORTO
ALEGRE**

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

Porto Alegre, dezembro de 2019

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Cristiane Sardin Padilla de Oliveira

Dr. em Engenharia Civil UFRGS

Prof. Fernando Mainardi Fan (IPH/UFRGS)

Dr. em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental IPH/UFRGS

Eng. Márlon Augusto Longhi (PPGCI/UFRGS)

Dr. em Engenharia Civil UFRGS

Dedico este trabalho à minha família, pelos ensinamentos,
pelo apoio e pelo incentivo incondicional ao meu
desenvolvimento pessoal e profissional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Prof.^a Cristiane, orientadora deste trabalho, pela dedicação, pelo comprometimento, pela disponibilidade e pelo auxílio no seu desenvolvimento e realização.

Agradeço aos meus pais pelo suporte, pela motivação e pelo apoio durante o período de graduação, bem como pelo esforço e dedicação incondicionais na minha educação e no meu desenvolvimento pessoal e profissional, me orientando e me incentivando na superação dos diferentes desafios enfrentados, além do empenho em proporcionar todas as oportunidades apresentadas a mim durante minha vida.

Agradeço ao meu irmão pela amizade, pelos aprendizados, pela parceria e pelo respeito ao longo dos anos.

Agradeço aos meus amigos, que sempre me apoiaram e me auxiliaram, contribuindo para meu desenvolvimento e estando comigo durante todo este período.

O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.

José de Alencar

RESUMO

O crescente incremento na densidade ocupacional evidenciado nos principais centros habitacionais mundiais, o qual acarreta reduções significativas nos níveis de permeabilidade dos solos urbanos, se configura como importante fator potencializador de crises de drenagem pluvial nas principais cidades brasileiras. Esta condição ocasiona, de maneira substancial, recorrentes alagamentos e transtornos atinentes à população residente nos principais centros urbanos. Procurando mitigar os impactos gerados a partir do acelerado desenvolvimento urbano, o projeto e a instalação de reservatórios de retenção pluvial são frequentemente adotados como práticas legislatórias compulsórias por parte dos órgãos regulamentadores municipais e estaduais brasileiros. Desta forma, é exigida a manutenção de volumes mínimos disponíveis para a retenção de águas pluviais em empreendimentos urbanos, buscando reduzir as vazões específicas máximas destinadas às redes públicas de esgotamento pluvial. Em função disto, se visa consequente redução de riscos associados a incidentes em decorrência de elevados níveis de precipitação nas cidades brasileiras. Este trabalho, desenvolvido em formato de artigo científico, possui como objetivo o estudo e a análise técnica a respeito de sistemas de telhado verde que combinam as principais características desta alternativa sustentável com a possibilidade de desenvolvimento de reservatório para retenção pluvial a ser localizado sob sua estrutura. A partir disto, se busca avaliar a garantia de atendimento às exigências legais para retenção pluvial urbana, além de apresentar aspectos positivos evidenciados em sistemas tradicionais de cobertura verde. Este artigo descreve os principais aspectos legais e técnicos associados a esta tecnologia, particularizado na cidade de Porto Alegre, de maneira a analisar sua aplicabilidade e exequibilidade em edificações locais. A partir dos tópicos e detalhes analisados, se conclui que o sistema estudado pode representar alternativa viável tecnicamente, atendendo aos requisitos técnicos apurados. Ainda, é realizada análise econômica concisa a respeito dos custos diretos e indiretos associados à instalação do sistema estudado. A partir desta análise, se identifica que, os valores diretamente associados à implantação do sistema possam vir a representar impactos nominalmente significativos no custo de construção de obras civis de pequeno e médio porte, especialmente se comparados a estruturas de telhados convencionais. No entanto, se destaca a existência de diferentes aspectos positivos atrelados à tecnologia que possuem quantificação dificultada. De maneira geral, estes aspectos representam importantes fatores no processo decisório para deliberação a respeito da viabilidade de adoção do sistema, incluindo possíveis benefícios e facilidades legais. Além disso, se pode destacar a possibilidade analisada para redução do volume mínimo reservado à retenção pluvial em diferentes níveis e pavimentos das edificações nas quais o sistema estudado possa vir a ser implementado.

Palavras-chave: Telhados verdes. Retenção pluvial. Tecnologias sustentáveis. Gestão da retenção de águas pluviais.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema de telhado verde modular (hidromodular).....	6
Figura 2 - Sistema de telhado verde alveolar grelhado.	7
Figura 3 – Sistema de telhado verde laminar alto.	7
Figura 4 – Exemplo de localização de prolongador de ralos pluviais no sistema laminar alto, definindo altura de lâmina d’água a ser mantida sob a estrutura.....	10

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparativo entre carregamento permanente estimado em pavimentos convencionais de cobertura e pavimentos de cobertura com sistema de telhado verde laminar alto, considerando seu funcionamento sob capacidade máxima de armazenamento.....	12
--	----

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

DEP – Departamento de Esgotos Pluviais

PDDrU – Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre

LISTA DE SÍMBOLOS

A – área do lote (m^2)

A_{imp} – área impermeável (m^2)

e – espessura (cm)

IP – índice pluviométrico (m/h)

t – tempo padrão de duração da chuva (h)

V – volume reservado (m^3)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	2
2	METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO	3
3	GERENCIAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS NAS CIDADES BRASILEIRAS	3
3.1	LEGISLAÇÃO NA CIDADE DE PORTO ALEGRE – RS	4
4	ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS DE TELHADOS VERDES	5
5	TELHADOS VERDES COMO ALTERNATIVA PARA DETENÇÃO PLUVIAL ..	8
5.1	COMPOSIÇÃO GERAL DO SISTEMA	8
5.2	METODOLOGIA DE EXECUÇÃO E MANUTENÇÃO	9
5.3	CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO	10
5.4	APURAÇÃO E ANÁLISE DE CUSTOS ASSOCIADOS	11
5.5	POSSIBILIDADE DE LOCAÇÃO DO SISTEMA EM EDIFICAÇÕES URBANAS	13
5.6	LIMITAÇÕES E RESTRIÇÕES IDENTIFICADAS	13
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	14
	REFERÊNCIAS	15

ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE TELHADOS VERDES COMO ALTERNATIVA PARA DETENÇÃO PLUVIAL EM PORTO ALEGRE

ANALYSIS OF THE USE OF GREEN ROOFS AS AN ALTERNATIVE FOR STORMWATER DETENTION IN PORTO ALEGRE

RESUMO

O crescente incremento populacional urbano, potencializador de crises de drenagem pluvial nas principais cidades brasileiras, tem como uma das medidas mitigadoras mais comuns a concepção compulsória de reservatórios de retenção pluvial nas edificações. O sistema de telhado verde estudado neste trabalho, que combina as características da tecnologia sustentável com um reservatório de retenção pluvial localizado sob sua estrutura, se apresenta como possível alternativa para combinação entre as vantagens apresentadas por sistemas tradicionais de telhado verde e a alocação de volume de retenção pluvial em pavimentos de cobertura. Considerando a existência e a recente adoção de sistemas com as características mencionadas em edificações na cidade de Porto Alegre, se objetiva com este trabalho o desenvolvimento de fundamentação técnica a respeito do tema, detalhando suas especificações e características principais. Desta forma, este artigo descreve os principais aspectos legais e técnicos associados a esta tecnologia, se concentrando em características particulares da cidade de Porto Alegre. A partir dos tópicos e detalhes analisados, se conclui que o sistema estudado representa alternativa viável tecnicamente, podendo apresentar custos diretos e indiretos relativa e proporcionalmente reduzidos para sua instalação, além de proporcionar diferentes vantagens técnicas e legais a partir de sua implementação.

Palavras-chave: Telhados verdes. Detenção pluvial. Tecnologias sustentáveis. Gestão da retenção de águas pluviais.

ABSTRACT

The growing urban populational increase, which enhances water drainage crises in main Brazilian cities, has as one of its most common mitigatory measures the compulsory conception of stormwater detention reservoirs in buildings. The green roof system studied in this work, which combines the characteristics of a sustainable technology with a stormwater detention reservoir located under its structure, presents itself as a feasible alternative to combine the advantages presented by traditional green roof systems with the rainwater volume allocation on building roofs. Considering the existence and the recent adoption of systems with these characteristics in buildings in the city of Porto Alegre, this work aims to develop technical grounding on the subject, detailing its specifications and main characteristics. This article describes the main legal and technical aspects associated with this technology, focusing on characteristics of the city of Porto Alegre. Analyzing the topics and details regarding these technologies, it can be concluded that the studied system can represent a technically viable alternative, presenting relatively reduced direct and indirect costs for its installation, besides providing different technical and legal advantages from its implementation.

Keywords: Green roofs. Stormwater detention. Sustainable technologies. Stormwater detention management.

1 INTRODUÇÃO

O recente incremento populacional, em conjunto com a elevação da densificação ocupacional, ambos aspectos urbanos evidenciados nas principais cidades e regiões metropolitanas brasileiras e mundiais, apresentam significativos impactos no desenvolvimento econômico e social destas localidades. Concomitantemente, a verticalização das cidades e a intensificação da construção de infraestrutura habitacional e de soluções de mobilidade urbana, acarretam diversos problemas relacionados à oferta de serviços básicos de drenagem e escoamento de águas superficiais. Destes aspectos, o esgotamento pluvial pode ser evidenciado entre os principais desafios a serem enfrentados pelos órgãos reguladores governamentais.

A crescente redução nos níveis de permeabilidade média do solo nestas regiões, potencializada em decorrência do acelerado desenvolvimento do mercado imobiliário urbano, gera a necessidade intrínseca da exigência de medidas mitigatórias por parte de órgãos reguladores governamentais. A partir da diminuição da parcela de água absorvida pelo solo, o consequente aumento exponencial das vazões a serem escoadas pelos sistemas de drenagem urbana tende sobrecarregar as estruturas existentes (ZHOU et al., 2019), exigindo assim atuação frente a esta realidade.

Desta forma, se adota em muitas situações, por parte de Prefeituras Municipais e de agentes regulamentadores regionais, a obrigatoriedade da instalação de sistemas de retenção de águas pluviais. Esta solução possui como principal objetivo a redução da carga máxima aplicada aos mecanismos de drenagem urbana e, conseqüentemente, a distribuição gradual das chuvas, mitigando os principais impactos oriundos da redução de permeabilidade dos solos em áreas urbanas.

Considerando de maneira específica o município de Porto Alegre, capital do estado do Rio Grande do Sul, a legislação urbana, é embasada e direcionada majoritariamente a partir do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental (PDDUA) e do Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDrU). A regulamentação municipal porto-alegrense orienta, pelo decreto 18.611, de 9 de abril de 2014, que as novas ocupações urbanas devem aplicar, na sua construção, técnicas que privilegiem a infiltração e a reservação das águas pluviais. Ainda, de maneira objetiva, é especificado o volume mínimo necessário para reservatórios de retenção de águas pluviais, garantindo assim vazões máximas de escoamento abaixo dos limites superiores definidos legalmente (PORTO ALEGRE, 2014).

De forma paralela, novas tecnologias e soluções sustentáveis disponíveis no ambiente construtivo, têm apresentado crescente importância e relevância na obtenção de maior eficiência energética, bem como certificações ambientais diversas. Estes sistemas tendem a ser considerados, cada vez mais, alternativas viáveis e adequadas à tentativa de conciliação entre os conflitos urbanos gerados a partir do crescimento das cidades, criando assim possibilidades para o desenvolvimento de sistemas inovadores, funcionais e sustentáveis às edificações projetadas.

Ao se avaliar o cenário atual da indústria da construção civil, se destaca, dentre as tecnologias sustentáveis presentes com maior frequência nas edificações urbanas, a adoção de diferentes sistemas de telhados verdes. Esta tecnologia, de maneira abrangente, se caracteriza como solução simples e funcional para diversos problemas identificados em projetos, se apresentando como alternativa para melhorias de isolamento acústico (VAN RENTERGHEM; BOTTELDOOREN, 2009), conforto térmico (TAM et al., 2016), absorção de águas pluviais (FEITOSA; WILKINSON, 2016) e outros aspectos construtivos relevantes.

A partir das diferentes soluções disponíveis no mercado com a utilização da tecnologia de telhados verdes, são identificados diversos sistemas distintos, com inúmeras aplicações e

particularidades individuais. Desta forma, estes sistemas apresentam, conseqüente e individualmente, diferentes vantagens, desvantagens e metodologias particulares de instalação. Com algumas de suas variações principais estando relacionadas à estrutura de cobertura das edificações (inclinações, áreas, formatos e outros aspectos), se entende que os sistemas de telhados verdes apresentam notável capacidade de absorção e armazenamento de águas pluviais (FEITOSA; WILKINSON, 2016). Assim sendo, alguns dos sistemas de existentes podem surgir como alternativas viáveis e vantajosas para compensação e mitigação dos problemas descritos anteriormente, se apresentando como método alternativo para compensação da redução de permeabilidade dos terrenos urbanos e, concomitantemente, auxiliando na detenção de águas pluviais para as edificações construídas, se destacando assim como possíveis soluções para o atendimento a regulações apresentadas por órgãos governamentais.

Considerando a relevância do tema analisado, bem como o incremento na adoção de sistemas de telhado verde na construção civil brasileira, este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de fundamentação técnica acerca do assunto, detalhando suas especificações e características principais. Uma vez que a utilização de telhados verdes como mecanismo de detenção pluvial apresenta referenciais teóricos e técnicos incipientes no Brasil, se busca, a partir deste estudo, apresentar e analisar os principais aspectos atinentes a estes sistemas e soluções. Complementarmente, em função da crescente implantação de sistemas e tecnologias de telhado verde, bem como da existência de mercado imobiliário desenvolvido e consolidado, se adota a cidade de Porto Alegre como referência para este estudo.

2 METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO

Este trabalho foi desenvolvido a partir de consulta a referências bibliográficas relacionadas aos temas estudados, de maneira a possibilitar compreensão adequada acerca dos assuntos abordados. A partir da definição e identificação dos principais temas e tópicos a serem discutidos no trabalho, foi desenvolvido estudo acerca de referenciais teóricos e legais relevantes ao assunto estudado.

Através de análise crítica quanto a aspectos legais atinentes à gestão de águas pluviais urbanas, se faz possível o aprofundamento de estudo a respeito da utilização de telhados verdes como alternativa para detenção de águas pluviais na cidade de Porto Alegre. Ainda, de maneira complementar, se tem a intenção do desenvolvimento de estudo técnico crítico acerca dos principais aspectos relacionados a tecnologias de telhados verdes. Com o detalhamento desta análise, se deseja também avaliar aspectos positivos e negativos relacionados a cada alternativa apresentada, explicitando assim vantagens e desvantagens identificadas nos sistemas estudados.

3 GERENCIAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS NAS CIDADES BRASILEIRAS

A partir dos diversos problemas mencionados e descritos anteriormente, os quais tangem a gestão de águas pluviais nas principais regiões urbanas nacionais e mundiais, ao se analisar a conjuntura brasileira atual, é possível destacar a situação atual existente nas principais cidades do país. De forma relevante, em conjunto com a cidade de Porto Alegre, a qual é objeto deste estudo, a cidade de São Paulo e sua região metropolitana são evidenciadas como grandes exemplos das conseqüências práticas geradas a partir da densificação habitacional e a conseqüente impermeabilização do solo urbano.

Os recorrentes alagamentos presenciados nestas regiões, marcadas como parte do principal centro urbano do país, geraram a necessidade de elaboração de diversas adaptações na legislação local. Estas mudanças, as quais são diretamente relacionadas a regiões com elevada

recorrência de problemas decorrentes de drenagem pluvial ineficiente, exercem papel relevante no estudo acerca de normativas regulatórias para o gerenciamento urbano de águas pluviais.

A legislação paulistana, no que tange o gerenciamento de águas pluviais em edificações urbanas, possui como principais instrumentos regulatórios a lei estadual 12.526, de 02 de janeiro de 2007 (SÃO PAULO, 2007), e a da lei municipal 16.402, de 22 de março de 2016 (SÃO PAULO, 2016). De maneira geral, estas medidas regulatórias demonstram e evidenciam a crescente preocupação das autoridades públicas com as adversidades geradas pela redução da permeabilidade na principal metrópole brasileira. Assim sendo, a partir de providências deste teor, se busca a mitigação do impacto urbanístico consequente da sobrecarga exercida sobre o sistema de drenagem pluvial urbana.

3.1 Legislação na cidade de Porto Alegre – RS

Semelhante às regulações apresentadas na cidade de São Paulo, a capital gaúcha possui, como complementação ao PDDUA e ao PDDrU, instrumentos legislativos, como decretos e instruções normativas, que discorrem sobre o controle da drenagem urbana. Estes mecanismos, a partir de suas deliberações, instituem medidas mitigadoras aos impactos da crescente impermeabilização urbana. Assim sendo, na cidade de Porto Alegre se apresenta como obrigatório o controle da vazão destinada à rede pública de drenagem pluvial, esta não devendo ultrapassar o valor de 20,8 l/(s.ha), o qual corresponde assim à vazão específica máxima a ser expedida ao sistema público de esgotamento (PORTO ALEGRE, 2014).

Excepcionalmente, o controle das vazões pluviais específicas, no caso da cidade Porto Alegre, pode ser desconsiderado, desde que devidamente justificado e homologado junto aos órgãos responsáveis, em terrenos com área inferior a 600 m². Em contrapartida, projetos que não sejam incluídos neste requisito devem, de maneira geral, prever mecanismos para devido controle e regulação de seus efluentes pluviais, conforme limite mencionado anteriormente. Complementarmente, a legislação porto-alegrense ainda determina que, em terrenos com superfície inferior a 100 hectares (10⁶ m²), caso o método de controle adotado seja composto por reservatórios de retenção pluvial, seu volume mínimo deve ser definido a partir do produto entre um coeficiente pré-determinado e a área impermeável total do projeto desenvolvido, conforme detalhado posteriormente (PORTO ALEGRE, 2014).

A partir de revisão e consulta bibliográfica a respeito dos critérios exigidos para o dimensionamento de reservatórios de retenção pluvial na cidade de Porto Alegre, é realizada a determinação dos principais fatores associados a estes mecanismos. Desta forma, se faz possível a parametrização dos requisitos necessários e, conseqüentemente, se possibilita a avaliação das obrigações técnicas a serem atendidas por estruturas com esta finalidade. A partir das práticas executivas frequentemente adotadas para o dimensionamento e a alocação usual de reservatórios de retenção de chuvas, é possível o entendimento e, com isso, o desenvolvimento de alternativas e soluções variadas para o controle de águas pluviais.

De maneira complementar, conforme mencionado previamente e explicitado na equação (1), a legislação aplicável na cidade de Porto Alegre determina o limite volumétrico mínimo para reservatórios de retenção pluvial, sendo este parâmetro tomado como referência usual no dimensionamento destas estruturas (PORTO ALEGRE, 2014). Assim sendo, a partir da área impermeável presente no lote estudado, é realizada a determinação do volume mínimo a ser adotado para de retenção pluvial na cidade de Porto Alegre, resultando assim em lâmina mínima de 4,25 centímetros para cada metro quadrado de área impermeável considerado.

$$V = 0,0425 \times A_{imp} \quad (1)$$

Com a determinação dos volumes mínimos necessários, se faz possível o desenvolvimento de análises críticas a respeito de suas locações e dimensões, fatores estes a serem determinados em função de condicionantes locais. Conforme o PDDrU, dentre os aspectos determinantes para a locação e o dimensionamento destes sistemas, há a necessidade de posicionar os reservatórios de maneira com que suas cotas de fundo permaneçam acima do nível apresentado pela drenagem pluvial pública, evitando assim possíveis inversões de fluxo hidráulico. Em função da diferença entre a cota máxima de cada reservatório e sua respectiva cota de fundo, obtém-se a área necessária em planta através do quociente entre o volume projetado e a diferença de cota mencionada. Desta forma, caso não haja limitação de altura, pode se determinar a área máxima disponível em planta, fazendo uso da mesma relação descrita anteriormente, obtendo-se como resultado final a altura necessária para o sistema implantado (DEP, 2005).

Usualmente, em projetos imobiliários urbanos nos quais não são identificadas as limitações mencionadas anteriormente, reservatórios de retenção pluvial são dispostos de maneira concentrada em locais junto ao solo, próximos à rede pública de drenagem. A adoção destas locações se deve, em grande parte, ao fato de que, para o desenvolvimento do projeto de drenagem pluvial, a captação de águas é concentrada em dispositivo único, reunindo e concentrando assim o volume proveniente de toda a superfície impermeável da edificação. Assim sendo, as redes de escoamento pluvial usualmente compreendem efluentes oriundos de pavimentos descobertos, os quais usualmente incluem os níveis térreos e superiores das edificações, além de terraços e demais regiões possivelmente aplicáveis.

Considerando estes fatores, se entende a necessidade da concentração no nível do solo, ou em altura próxima à cota do sistema público de drenagem pluvial, de volumes de retenção de chuvas. Assim sendo, estes volumes mencionados devem ser dimensionados de maneira que atendam, no mínimo, à parcela de área superficial das edificações presentes em níveis distintos de suas coberturas. Desta forma, ponderando as restrições e necessidades descritas, estas características são evidenciadas como fatores limitantes para a locação da totalidade do volume de águas pluviais detidas em sistemas e compartimentos nos níveis de cobertura das edificações urbanas.

4 ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS DE TELHADOS VERDES

De maneira paralela, a crescente busca por tecnologias sustentáveis, em conjunto com o desenvolvimento da conscientização e da preocupação com os impactos ambientais gerados durante e após o desenvolvimento de projetos de edificações e obras civis, se apresentam como fatores relevantes. Estes aspectos têm, invariavelmente, influenciado e estimulado a inserção mercadológica de sistemas construtivos sustentáveis, mitigando e compensando as alterações e impactos sobre o meio-ambiente urbano. A partir disto, a adoção de sistemas de telhados verdes surge, de maneira crescente, como alternativa sustentável e amplamente difundida nos principais centros urbanos mundiais, apresentando diversas especificações e opções executivas à indústria da construção civil.

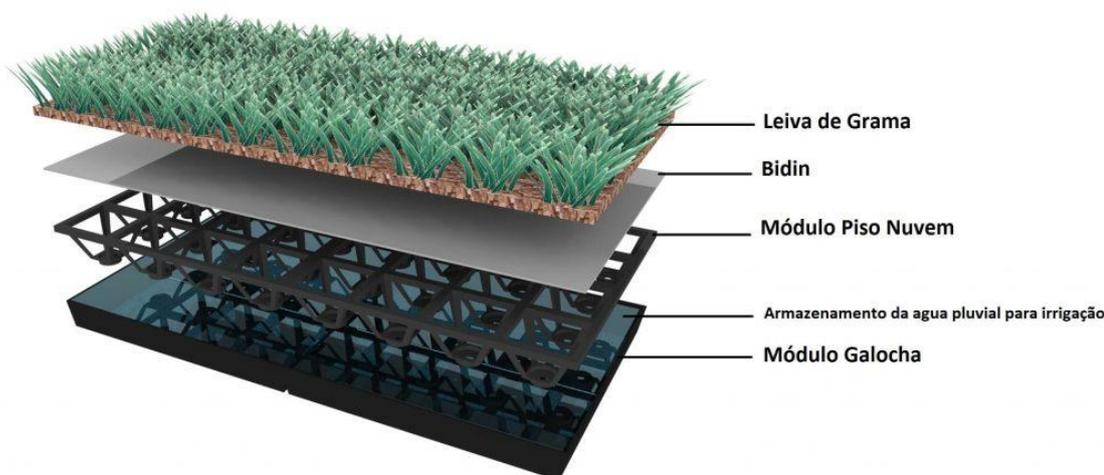
Em síntese, sistemas de telhado verde podem ser definidos como estruturas desenvolvidas pela aplicação de cobertura vegetal nas edificações, consistindo em camadas subsequentes de vegetação, substrato e drenagem (CASTRO, 2011). Estes sistemas, além de representarem importante alternativa tecnológica para construção sustentável, contribuindo para o desenvolvimento sustentável, geram diversos benefícios construtivos às edificações nas quais são aplicados. A partir de sua instalação, se apresentam possíveis condições aprimoradas de habitabilidade, como maior conforto térmico às unidades habitacionais ou comerciais

desenvolvidas (TAM et al., 2016) e isolamento acústico frente à poluição sonora urbana (VAN RENTERGHEM; BOTTELDOOREN, 2009).

Na cidade de Porto Alegre, se destacam, dentre outras tecnologias, sistemas construtivos fornecidos pela empresa Ecotelhado (ECOTELHADO, 2019a), responsável pela execução de diversas estruturas de telhado verde localizadas na capital gaúcha, compondo parte de empreendimentos relevantes presentes na região. Dentre estes sistemas, se pode destacar a tecnologia modular (hidromodular), o sistema alveolar grelhado e o sistema laminar alto, cada um apresentando particularidades e características próprias distintas entre si.

O sistema de telhado verde modular (hidromodular) é caracterizado por sua simplicidade e facilidade de execução, possuindo capacidade de armazenamento de água, com sua obtenção realizada através de retenção pluvial. Em síntese, este sistema consiste na sobreposição de módulos plásticos, cobertos por membrana de absorção, substrato e vegetação, podendo ainda conter elementos adicionais para proteção do sistema e da impermeabilização executada na laje, conforme ilustrado na Figura 1. Por sua característica geométrica, a alternativa tem utilização limitada a telhados horizontais ou de baixa inclinação, de maneira a garantir a devida retenção de água (ECOTELHADO, 2019b).

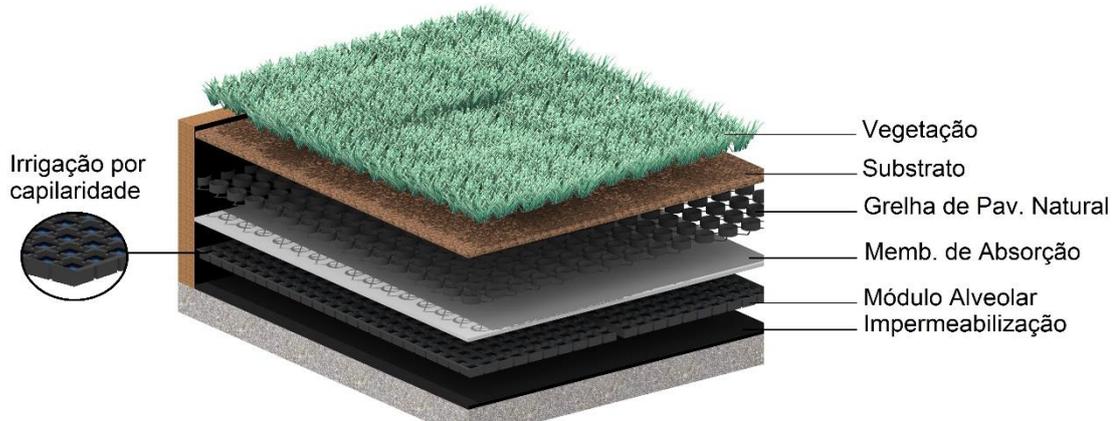
Figura 1 - Sistema de telhado verde modular (hidromodular).



Fonte: ECOTELHADO, 2019b.

Ainda, a alternativa de telhado verde alveolar grelhado se apresenta semelhante à opção descrita anteriormente, com adição de sistema de grelha sobre a membrana de absorção (conforme ilustrado na Figura 2) Complementarmente, este sistema tem como principal aspecto seu módulo inferior, caracterizado por estrutura segmentada, que possibilita sua aplicação em telhados com maior inclinação, reservando água em compartimentos de volume reduzido, de maneira a garantir condições adequadas à vegetação alocada na superfície. Em contraponto, ao se garantir maior inclinação à estrutura, é evidenciado menor volume total de armazenamento de água, se comparado à alternativa descrita anteriormente, podendo, por este motivo, se fazer necessária, com a instalação desta tecnologia, a previsão de sistema de irrigação, dedicado à garantia de adequada manutenção à vegetação (ECOTELHADO, 2019c).

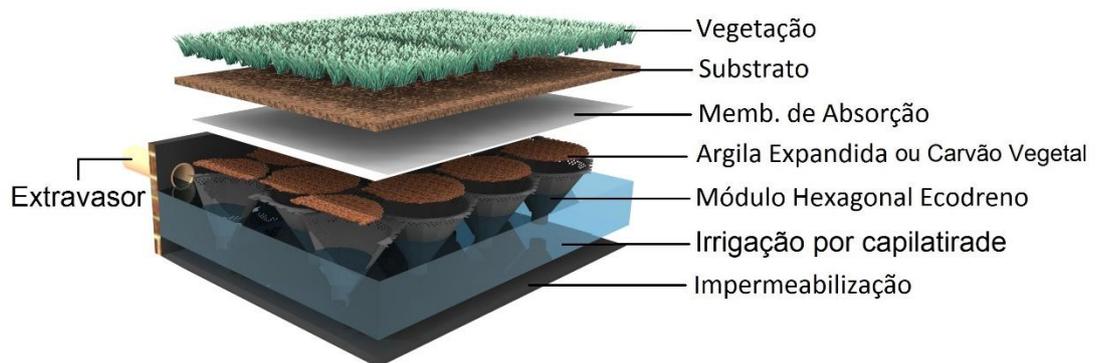
Figura 2 - Sistema de telhado verde alveolar grelhado.



Fonte: ECOTELHADO, 2019c.

Finalmente, o sistema de telhado verde laminar alto, fazendo uso de tecnologias e princípios semelhantes aos adotados nos sistemas previamente descritos, possui como fator diferencial sua capacidade de retenção pluvial. Esta solução, desenvolvida sem a utilização de módulos plásticos para o armazenamento de água, possui peças drenantes preenchidas com argila expandida que atuam na transmissão de água entre a vegetação e o volume de água armazenado sob o sistema, conforme ilustrado na Figura 3. Desta forma, o mecanismo atua como possível reservatório de retenção, integrando parte do sistema de drenagem pluvial do empreendimento no qual está instalado (ECOTELHADO, 2019d).

Figura 3 – Sistema de telhado verde laminar alto.



Fonte: ECOTELHADO, 2019d.

A partir da descrição e análise destes sistemas, além de métodos alternativos similares presentes na cidade de Porto Alegre, bem como em outras localidades, se nota a vasta gama de tecnologias disponíveis para execução de telhados verdes, com sua utilização já amplamente difundida nas principais cidades mundiais. Estas soluções apresentam, conforme já mencionado, diversas vantagens aos empreendimentos que optam pela adoção e pelo desenvolvimento de tecnologias afins.

Dentre os aspectos positivos considerados e citados anteriormente, se destaca a capacidade de retenção de águas pluviais evidenciada nos sistemas de telhado verde, em especial no sistema laminar alto. Esta característica particular pode, de maneira representativa, contribuir para o desenvolvimento e a manutenção da vegetação alocada no sistema, além de garantir armazenamento de água sob a vegetação, fator de extrema relevância para redução das vazões incidentes nas instalações pluviais dos empreendimentos e, conseqüentemente, nos sistemas de drenagem dos centros urbanos.

5 TELHADOS VERDES COMO ALTERNATIVA PARA DETENÇÃO PLUVIAL

Considerando os tópicos e informações discutidos, se faz possível a análise, de forma mais aprofundada e consistente, a respeito da possibilidade do uso de sistemas de telhados verdes como alternativa, complementar ou substitutiva, às estruturas de retenção pluvial executadas em edificações urbanas. De maneira geral, para o desenvolvimento de análise crítica a respeito da tecnologia estudada, é realizado estudo quanto à capacidade de armazenamento dos sistemas de telhado verde, bem como detalhamento acerca de sua metodologia de execução e manutenção.

Complementarmente, se mostra relevante a apuração e análise concisa acerca de custos associados à adoção do sistema, além de detalhamento das possibilidades de locação do sistema em edificações urbanas. Finalmente, se faz possível o desenvolvimento análise crítica a respeito das limitações e restrições apresentadas pela tecnologia.

Visto que o desenvolvimento deste estudo possui como direcionamento principal o cenário e as limitações presentes na cidade de Porto Alegre, se adotou, como base para a avaliação e a análise técnica a serem elaborados neste trabalho, o sistema laminar alto. Este sistema, conforme descrito previamente, é caracterizado por estrutura elevada de telhado verde, sob a qual se faz possível o armazenamento e a retenção de volumes d'água.

Esta tecnologia de telhado verde é fornecida pela empresa Ecotelhado, representando assim alternativa tecnicamente exequível e disponível para execução no local estudado. Por este motivo, o sistema laminar alto foi tomado como referência teórica para este trabalho, uma vez que compreende os aspectos identificados como necessários para adequada retenção pluvial.

Todavia, considerando a existência de aspectos particulares diretamente relacionados às especificações determinadas por cada fornecedor ou prestador de serviço, a solução a ser detalhada neste trabalho não se configura como alternativa única e exclusiva para a retenção de águas pluviais através de telhados verdes. Assim sendo, para este fim e por meio das premissas expostas neste estudo, se mostra viável a avaliação a respeito do uso de tecnologias similares, apresentando resultados e desempenho semelhantes aos identificados no sistema analisado.

5.1 Composição geral do sistema

Considerando o sistema estudado, se mostra relevante, de maneira a qualificar e caracterizar com maior clareza suas especificações, o desenvolvimento e detalhamento quanto a seu método executivo. A partir deste detalhamento, são explicitadas suas particularidades próprias, bem como detalhes gerais a serem considerados para telhados verdes utilizados como forma de sistema para retenção pluvial. Assim sendo, de forma a possibilitar a avaliação dos procedimentos de execução e manutenção da tecnologia estudada, se mostra adequada a listagem e a descrição sucinta de seus componentes e partes integrantes.

De maneira geral, a tecnologia detalhada neste trabalho é composta majoritariamente, conforme demonstrado anteriormente em detalhe ilustrativo, por estruturas modulares plásticas responsáveis pelo desenvolvimento de drenagem controlada, assim como retenção parcial de

água, esta realizada através do uso de argila expandida, a qual é incluída no interior destes compartimentos. Ainda, é prevista na estrutura a instalação de manta asfáltica antirraiz, seguida de manta, composta por polietileno de alta densidade (PEAD), tendo ambas mantas a função principal de garantia de proteção à impermeabilização da laje de cobertura localizada sob o sistema (ECOTELHADO, 2019d).

Complementarmente, se adota, para constituição do sistema, a utilização de membranas de absorção compostas por tecido absorvente, o qual possibilita a retenção e o parcial suprimento de água e nutrientes às raízes desenvolvidas na estrutura. Finalmente, em camada imediatamente inferior à vegetação superficial é posicionado material para composição de substrato leve, o qual é formado por materiais orgânicos e sintéticos, garantindo armazenamento de água e nutrientes, além de, simultaneamente, proporcionar reduzida carga adicional à edificação, buscando assim a redução de custos associados à instalação da tecnologia (ECOTELHADO, 2019d).

5.2 Metodologia de execução e manutenção

Considerando a composição geral e as características apresentadas pelo sistema estudado, se pode detalhar, de maneira sintetizada, as metodologias de execução e manutenção que se relacionam a sua aplicação e instalação. A partir dos materiais constituintes descritos anteriormente, a sequência executiva recomendada segue ordenamento a ser descrito posteriormente, tendo como principais diretrizes a garantia de proteção à laje impermeabilizada frente ao crescimento e desenvolvimento de raízes, bem como o adequado fornecimento de nutrientes e água à vegetação posicionada sobre a estrutura de telhado verde.

Inicialmente, para execução do sistema, é instalada, sobre a laje de cobertura impermeabilizada, manta asfáltica com proteção antirraiz, composta por materiais agregados de aditivos herbicidas que inibem o contato e a perfuração das camadas pelas raízes das plantas (CORREA, 2001). Sobre este nível, é disposta manta fabricada em PEAD¹, cobrindo assim a totalidade da superfície a ser abrangida pelo telhado verde, de forma a proteger a edificação contra possíveis manifestações naturais da vegetação a ser disposta futuramente no local. Sobre esta camada de impermeabilização, são instaladas as peças plásticas modulares, garantindo assim a manutenção de altura para detenção de água sob o substrato. Estas estruturas, após devido posicionamento e instalação, são preenchidas com argila expandida e, posteriormente, cobertas por membrana de absorção, a qual é sucedida por componentes de matéria orgânica e sintética, os quais garantem o adequado suprimento de nutrientes à vegetação superficial, instalada na camada final do telhado verde (Figura 3). De forma a garantir devido travamento e estabilidade da estrutura a ser instalada sobre a cobertura da edificação, se faz necessária a previsão e execução de acabamento adequado para fixação dos módulos junto a paredes ou vigas adjacentes ao sistema (ECOTELHADO, 2019d).

Após a instalação do telhado verde, é recomendada irrigação abundante por período mínimo de 45 dias, propiciando assim adaptação adequada da vegetação ao local de instalação, além de favorecer o crescimento de raízes, atingindo o reservatório inferior localizado sob a estrutura. Ainda, se recomenda, em situações nas quais são evidenciadas dificuldades para adaptação ou desenvolvimento da vegetação, a adubação e irrigação uniformes, visando estabilização da qualidade do sistema, garantindo manutenção de sua funcionalidade e aparência adequada. Finalmente, se reforça a necessidade, especialmente em situações ou localidades nas quais sejam demonstrados períodos significativos de estiagem prolongada, de sistema auxiliar para fornecimento de água ao reservatório inferior mantido sob o sistema, garantindo, além de

¹ Tipo de manta impermeabilizante, confeccionada em Polietileno de Alta Densidade (PEAD).

manutenção adequada à vegetação, maior conforto térmico através de evapotranspiração (ECOTELHADO, 2019d).

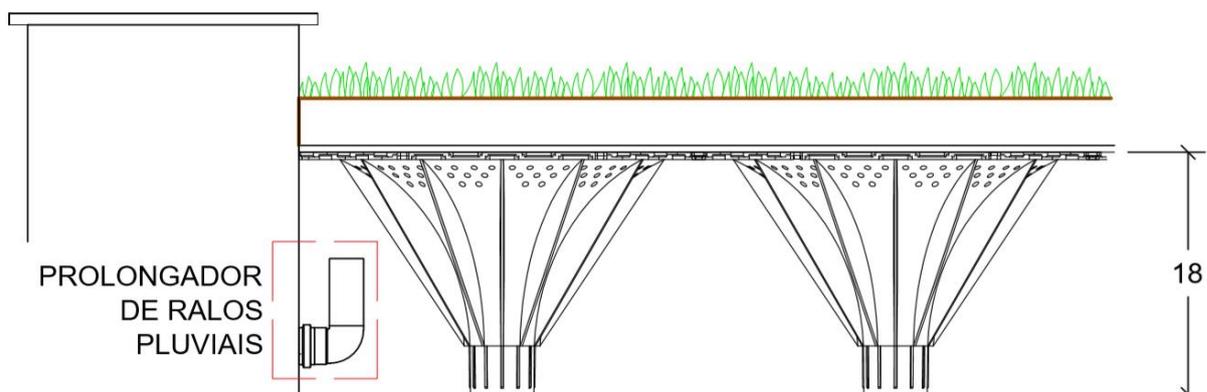
5.3 Capacidade de armazenamento

De maneira geral, conforme mencionado anteriormente, os reservatórios de retenção pluvial têm seu dimensionamento executado a partir da área impermeável disposta sobre o terreno a ser construído. Assim sendo, com a usual existência de pavimentos térreos, bem como de terraços internos à edificação, é apresentada, impreterivelmente, a necessidade de locação de parte do sistema de retenção pluvial em regiões próximas ao solo. A partir disto, se procura então atender o escoamento a vazão transmitida a partir da área impermeável correspondente a estes níveis da edificação.

Desta forma, se entende que, com a adoção de telhados verdes como mecanismo para retenção pluvial, a avaliação a respeito da sua suficiência quanto ao armazenamento de água deve ser limitada apenas à área impermeável localizada na cobertura das edificações. Tendo em vista este critério, ao se consultar informações técnicas divulgadas a respeito do sistema estudado (ECOTELHADO, 2019d), se estima que a lâmina d'água suportada pelo sistema seja de até 18 centímetros, possuindo assim suficiência para armazenamento de aproximadamente 180 litros/m².

De maneira a atender possíveis requisitos de dimensionamento e adequação, a capacidade máxima do sistema é determinada em função do dimensionamento e posicionamento de estrutura prolongadora de ralos pluviais (conforme ilustrado na Figura 4), a qual delimita a lâmina d'água mantida sob a estrutura do telhado verde (ECOTELHADO, 2019d). Ainda, complementarmente, há a possibilidade de execução da estrutura com ralos pluviais posicionados diretamente na laje de cobertura, conferindo assim apenas características de retenção de chuvas e retardamento do escoamento pluvial à estrutura. A partir desta solução, não se configura necessidade de manutenção de lâmina d'água mínima para manutenção adequada da vegetação superficial, primordialmente em função dos elevados índices de umidade e pluviométricos existentes na cidade de Porto Alegre.

Figura 4 – Exemplo de localização de prolongador de ralos pluviais no sistema laminar alto, definindo altura de lâmina d'água a ser mantida sob a estrutura.



Fonte: adaptado de ECOTELHADO, 2019d.

A partir da definição e análise a respeito dos níveis d'água suportados e disponibilizados pelo sistema estudado, se faz possível a avaliação a respeito do atendimento às exigências legais apresentadas para retenção de águas pluviais nos ambientes urbanos da cidade de Porto Alegre.

Desta forma, para análise quanto ao atendimento de exigências legais apresentada nesta cidade, se verifica a necessidade de altura mínima de 4,25 centímetros para cada metro quadrado de área impermeável.

Sendo assim, se pode identificar que, para o uso desta tecnologia como mecanismo de retenção de águas pluviais, o sistema estudado possui capacidade de atendimento às restrições legislativas apresentadas quanto ao volume mínimo de retenção, tendo sua viabilidade atestada quanto a este fator. Ainda, se destaca que a possibilidade de retenção pluvial mencionada deve abranger apenas parcela referente à área de cobertura da edificação, uma vez que se mostra relevante a execução de mecanismo complementar, a ser localizado em pavimentos inferiores das edificações estudadas.

Complementarmente, a partir de definição da lâmina d'água a ser mantida sob o sistema, conforme ilustrado na Figura 4, a estrutura estudada possui possibilidade de atuação na retenção de águas pluviais, se apresentando como alternativa para sistemas de reuso destes efluentes. A partir da retenção de água sob o sistema, se mostra possível a utilização do volume reservado para finalidades diversas, a serem adequadas às necessidades apresentadas.

Ainda, adicionalmente à capacidade de retenção demonstrada, o sistema de telhados verdes, desde que adequadamente conservado, se apresenta como reservatório coberto, reduzindo possíveis problemas sanitários provenientes da manutenção de água parada sobre as edificações urbanas. Além disso, a presença de vegetação instalada sobre o reservatório a ser mantido garante filtragem parcial dos efluentes, removendo partículas poluentes da água pluvial incidente (ECOTELHADO, 2019e).

5.4 Apuração e análise de custos associados

A partir do detalhamento do sistema estudado, bem como suas características técnicas e executivas principais, se faz possível a análise acerca dos custos associados à sua instalação, os quais representam importante fator no processo decisório pela adoção de tecnologias sustentáveis nas edificações urbanas. Esta relevância é evidenciada uma vez que, embora alternativas sustentáveis tenham apresentado aceitabilidade crescente no desenvolvimento de empreendimentos imobiliários atuais, as variáveis econômicas e financeiras atreladas a estas tecnologias possuem elevada relevância para sua exequibilidade e viabilidade.

Além de custos a serem incorridos que são diretamente relacionados ao sistema, os quais são representados principalmente por materiais e mão de obra, se deve ponderar, para o sistema estudado, os impactos indiretos ocasionados a partir de sua instalação. Estes impactos se relacionam, entre outros aspectos, ao aumento da capacidade de carga necessária à estrutura. Uma vez que, com a possibilidade de armazenamento e retenção de águas pluviais nos níveis superiores das edificações, o carregamento previsto para os pavimentos nos quais a tecnologia é instalada deve ser incrementado e, conseqüentemente, estes impactos gerados são refletidos de maneira indireta aos diferentes componentes estruturais localizados ao longo da edificação. Para determinação dos custos diretamente associados à instalação do sistema estudado, incluindo materiais e mão de obra necessários para sua aplicação, foi realizada consulta à empresa Ecotelhado, fornecedora da tecnologia em questão.

Ainda, para arbitragem destes valores, se faz necessária aproximação dos custos totais atinentes à tecnologia, considerando a possível variabilidade existente a partir de especificações particulares do sistema, como, por exemplo, o tipo de vegetação a ser instalado sobre a estrutura. Assim sendo, o valor estimado para implementação do sistema é precificado em função da área de instalação, sendo aproximado em R\$ 400,00 para cada metro quadrado

implementado de cobertura, considerando valores para o ano de 2019 e para a cidade de Porto Alegre.

Complementarmente, se busca avaliação com relação aos custos indiretos associados à adoção do sistema estudado, sendo a influência sobre o dimensionamento estrutural o principal aspecto levantado e apurado. Desta forma, se entende que há diferentes aspectos que possuem influência em seus impactos finais sobre a estrutura, uma vez que possuem detalhamento e especificações diretamente relacionados a particularidades de cada projeto a ser desenvolvido. Ainda assim, a partir da carga estrutural adicionada pela tecnologia estudada aos pavimentos de cobertura, a qual é aproximada entre 250 kgf/m² e 300 kgf/m² (ECOTELHADO, 2019d), é possível estimar parte de seu impacto nas cargas permanentes aplicadas neste pavimento sobre a estrutura.

Considerando que as cargas de ação variável atuantes sobre as estruturas têm como um de seus fatores determinantes a finalidade de uso que será adotada para cada pavimento, se apresenta demasiadamente ampla e variada a gama de situações a serem consideradas e avaliadas para o desenvolvimento de análise de seus impactos. Contudo, avaliando as cargas de ação permanente usualmente aplicadas sobre pavimentos de cobertura, se faz possível o estudo acerca destes elementos para estimativa dos impactos estruturais incidentes sobre as edificações. A partir das especificações apresentadas pela NBR 6120 – Ações para o cálculo de estruturas de edificações, se pode desenvolver análise comparativa concisa a respeito dos impactos ocasionados pela adoção do sistema de telhado verde estudado. Esta análise é especificada na Tabela 1, através do detalhamento a respeito do impacto do sistema estudado sobre as cargas permanentes associadas tipicamente aos pavimentos de cobertura das edificações (ABNT, 2019).

Tabela 1 – Comparativo entre carregamento permanente estimado em pavimentos convencionais de cobertura e pavimentos de cobertura com sistema de telhado verde laminar alto, considerando seu funcionamento sob capacidade máxima de armazenamento.

	Estrutura convencional	Estrutura com sistema de telhados verdes estudado
Componente	(kgf/m²)	(kgf/m²)
Laje de concreto armado (e = 10 cm)	250	250
Impermeabilização com proteção mecânica	180 a 270	180 a 270
Revestimento de piso	100 a 140	-
Sistema de telhado verde laminar alto	-	250 a 300
Total (cargas de ação permanente)	530 a 660	680 a 820

Fonte: adaptado de ABNT, 2019.

Ao se analisar os dados e as características expostas, se faz também necessário destacar que os impactos aproximados através da Tabela 1 são incidentes exclusivamente sobre as cargas permanentes estimadas no pavimento de cobertura. Assim sendo, há de se ressaltar que, caso as estruturas avaliadas venham a possuir cargas de ação variável similares, o incremento percentual obtido representará valores inferiores aos apresentados. Ainda, se destaca que, ao se considerar as cargas totais incidentes sobre as edificações, o incremento descrito anteriormente é reduzido significativamente, tendo menor representatividade à medida que as cargas totais da estrutura possuam valores proporcionalmente mais significativos.

5.5 Possibilidade de locação do sistema em edificações urbanas

Considerando as características observadas e descritas a respeito do sistema de telhado verde estudado para retenção de águas pluviais, se entende que sua aplicação é exequível em variadas situações e configurações construtivas. Sendo assim, a tecnologia avaliada, devendo ser instalada em regiões descobertas das edificações, sob condições ambientais diversas, tem utilização e instalação possível sobre diferentes estruturas.

De maneira geral, sua aplicabilidade inclui, mas não se limita, a pavimentos usuais de cobertura, níveis superiores de áreas condominiais independentes, além de alternativas diversas. Como restrição ao seu funcionamento, se resalta a necessidade de execução em pavimentos horizontais, de forma a garantir a manutenção e o armazenamento adequado de água sob seu sistema. Adicionalmente, se mostra pertinente destacar a necessidade de avaliação técnica quanto à necessidade de previsão para abastecimento de água independente, alimentando o reservatório localizado sob a estrutura elevada, de maneira a garantir condições adequadas à perenidade da vegetação instalada junto ao sistema.

5.6 Limitações e restrições identificadas

A partir da análise desenvolvida acerca da utilização do sistema estudado para composição de telhados verdes como alternativa para retenção de águas pluviais, se pode avaliar de maneira crítica os principais aspectos limitantes e restritivos apresentados pela tecnologia. Desta forma, se possibilita ponderação de fatores relevantes a serem considerados em tomadas de decisão, em especial na possível decisão pela adoção ou não de estruturas desta natureza. O estudo a respeito de restrições e limitações legais, em conjunto com a avaliação a respeito de condicionantes práticas executivas e possíveis delimitações de projeto, levam à elaboração de

conclusões quanto a sua aplicabilidade e eficiência prática em projetos reais de edificações e residências.

De maneira geral, examinando as condições usuais adotadas no desenvolvimento de projetos de escoamento pluvial de edificações urbanas na cidade de Porto Alegre, é possível concluir que a concentração, na estrutura estudada, da totalidade do volume mínimo exigido legalmente por órgãos reguladores se apresenta inviável. Esta limitação se mostra relevante, ainda que o sistema de telhado verde analisado possa vir a ter capacidade volumétrica de atendimento a tal condição. Assim sendo, não se pode desconsiderar e negligenciar o escoamento de águas pluviais provenientes de áreas térreas, assim como de demais níveis inferiores às coberturas.

A partir dos fatores expostos no parágrafo anterior, bem como aspectos já discutidos previamente neste trabalho, é possível inferir que existe a possibilidade de, através do sistema estudado, reduzir o volume total a ser reservado em pavimentos térreos ou subsolos das edificações. Assim sendo, se identifica a necessidade de previsão destes compartimentos apenas para atendimento à parcela de área impermeável do terreno que não esteja localizada em coberturas nas quais este sistema pode vir a ser implementado.

Ainda, analisando o descarregamento de água pluvial oriundo diretamente do reservatório de detenção implementado na cobertura da edificação, se estima a ocorrência de escoamentos e, conseqüentemente, descargas substanciais à rede pública de esgotamento, apresentando assim elevados valores de velocidade. Desta forma, se pode, através de projeto específico, contendo dimensionamento e detalhamento adequados, prever sistema de unificação entre vazões de saída projetadas. A partir desta solução, agrupando simultaneamente volumes provenientes da cobertura das edificações e de pavimentos localizados em níveis inferiores distintos, se pode viabilizar redução dos impactos gerados sobre a rede pluvial pública.

Complementarmente, além dos aspectos já ponderados, cabe salientar a necessidade de devida preocupação e prevenção quanto à possibilidade de extravasamento de estruturas de detenção pluvial localizadas em pavimentos elevados. Assim sendo, se compreende a necessidade da previsão de mecanismos dedicados à adequada diligência quanto ao extravasamento de águas pluviais, evitando assim a possibilidade de escoamento do excesso de água através da superfície das edificações. Para o desenvolvimento de medidas preventivas a estas situações, se pode apresentar soluções como condutos de extravasamento na superfície da estrutura, conectados diretamente ao sistema de escoamento pluvial do projeto. Mecanismos similares aos mencionados, bem como a previsão de folgas entre a estrutura de telhado verde e os limites externos da edificação, geram a possibilidade de adequado direcionamento e escoamento à rede pluvial, evitando contratempos relacionados a este possível cenário.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do desenvolvimento deste estudo, é factível a identificação e o detalhamento de diversos elementos relacionados ao sistema analisado. De forma geral, considerando a crescente implementação de tecnologias sustentáveis na construção civil, é possível abordar sinteticamente o tema estudado a partir de análise de aspectos relacionados às legislações locais, responsáveis normativas pela prevenção e regulamentação acerca de tópicos relacionados ao esgotamento pluvial urbano. Além disso, se possibilita o estudo a respeito dos estímulos, entraves e questões particulares referentes à adoção de sistemas sustentáveis, como os telhados verdes, em edificações urbanas.

Analisando os principais aspectos legais referentes à gestão de águas pluviais nos centros urbanos, se torna possível o entendimento de que os principais centros urbanos do país, exemplificados neste trabalho pelas cidades de Porto Alegre e São Paulo, possuem instrumentos

legais já desenvolvidos para planejamento e regulamentação contra os impactos gerados nos sistemas urbanos de drenagem pluviais provenientes do acelerado crescimento urbano e metropolitano. Ainda assim, é notável que, especialmente nas cidades mencionadas, o desenvolvimento de leis e regulamentações para gestão de águas pluviais, tende a ser realizado de maneira tardia.

Desta forma, sendo desenvolvidas em momentos nos quais processos de urbanização e densificação populacional já se encontram em estágios desenvolvidos, a eficiência atrelada e estas medidas tende a ser prejudicada. Em consequência disto, se exige, por parte dos poderes públicos, providências de maior abrangência, uma vez que a regulamentação e o planejamento não conferem adequada prevenção contra a ocorrência de alagamentos nos principais centros urbanos do país.

Paralelamente, com relação às tecnologias sustentáveis disponíveis no ambiente da construção civil brasileira, mais especificamente quanto aos sistemas de telhado verde estudados neste trabalho, é notável, em conjunto com crescentes incentivos legais existentes, o incremento na presença destes elementos nas edificações desenvolvidas recentemente. Assim sendo, o sistema estudado neste trabalho se apresenta, a partir de todos aspectos e características detalhados, como alternativa viável e atrativa para implementação em construções urbanas.

A partir de análise concisa desenvolvida, se entende que, especialmente em construção de porte médio e grande, os custos atrelados ao sistema estudado tendem a não representar desembolsos financeiros significativos. Complementarmente, o sistema estudado pode constituir consideráveis vantagens de difícil quantificação, como, por exemplo, a possibilidade de redução do volume destinado a reservatórios de retenção pluvial nos pavimentos térreos e subsolos de edificações.

Conforme descrito previamente, se ressalta, como fator limitante da solução discutida, que a incorporação do sistema estudado não deve ser interpretada como solução única ao gerenciamento de águas pluviais. Assim sendo, se evidencia a necessidade de tecnologias complementares para garantia de devido atendimento às necessidades de escoamento de cada empreendimento.

Além disso, se possibilita a adoção da tecnologia analisada em situações nas quais as cotas dos sistemas de esgotamento pluvial dificultam a adoção de estruturas convencionais de retenção de chuvas. Conforme mencionado previamente, uma vez que a alocação destas estruturas é recomendada em níveis altimétricos superiores aos observados para as redes pluviais públicas disponíveis, a redução do volume alocado em níveis térreos e subsolos se apresenta relevante. Ainda, especificamente na cidade de Porto Alegre, tecnologias de telhado verde garantem, entre outros elementos, a possibilidade de redução compensatória na área permeável a ser destinada nos empreendimentos urbanos, representando assim considerável vantagem construtiva e econômica. Desta forma, a partir dos elementos e aspectos analisados e discutidos neste trabalho, se entende que, respeitados os critérios detalhados ao longo deste estudo, bem como aspectos construtivos e estruturais adequados, a adoção de sistemas de telhado verde como alternativa para retenção pluvial se apresenta adequada, representando importante opção dentre os sistemas construtivos disponíveis na construção civil.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120: ações para o cálculo de estruturas de edificações**, 2019.

CASTRO, A. S. **Uso De Pavimentos Permeáveis E Coberturas Verdes No Controle Quali-Quantitativo Do Escoamento Superficial Urbano**. 2011. Universidade Federal do Rio

Grande do Sul, [s. l.], 2011.

CORREA, C. B. **Análisis de la viabilidad y comportamiento energético de la cubierta plana ecológica**. 2001. Universidad Politécnica de Madrid - Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, [s. l.], 2001.

DEPARTAMENTO DE ESGOTOS PLUVIAIS. Plano Diretor de Drenagem Urbana - Manual de Drenagem Urbana. . 2005.

ECOTELHADO. **Telhado Verde Ecológico / Teto Verde - Ecotelhado**. 2019a. Disponível em: <<https://ecotelhado.com/sistema/ecotelhado-telhado-verde/>>. Acesso em: 13 ago. 2019.

ECOTELHADO. **Telhado Verde Hidromodular para Coberturas - Ecotelhado**. 2019b. Disponível em: <<https://ecotelhado.com/sistema/ecotelhado-telhado-verde/hidromodular/>>. Acesso em: 13 ago. 2019.

ECOTELHADO. **Telhado Verde Alveolar Grelhado - Ecotelhado**. 2019c. Disponível em: <<https://ecotelhado.com/sistema/ecotelhado-telhado-verde/sistema-modular-alveolar-grelhado/>>. Acesso em: 13 ago. 2019.

ECOTELHADO. **Telhado Verde Laminar Alto / Cisterna Ecológica - Ecotelhado**. 2019d. Disponível em: <<https://ecotelhado.com/sistema/ecotelhado-telhado-verde/sistema-laminar-alto/>>. Acesso em: 13 ago. 2019.

ECOTELHADO. **Reuso de Água da Chuva**. 2019e. Disponível em: <<https://ecotelhado.com/reuso-de-agua-da-chuva/>>. Acesso em: 20 dez. 2019.

FEITOSA, R. C.; WILKINSON, S. Modelling green roof stormwater response for different soil depths. **Landscape and Urban Planning**, [s. l.], 2016.

PORTO ALEGRE. **Decreto n.º 18.611, de 9 de abril de 2014**, 2014.

SÃO PAULO (CIDADE). **Lei n.º 16.402, de 22 de março de 2016**, 2016.

SÃO PAULO (ESTADO). **Lei n.º 12.526, de 02 de janeiro de 2007**, 2007.

TAM, V. W. Y.; WANG, J.; LE, K. N. Thermal insulation and cost effectiveness of green-roof systems: An empirical study in Hong Kong. **Building and Environment**, [s. l.], 2016.

VAN RENTERGHEM, T.; BOTTELDOOREN, D. **Reducing the acoustical façade load from road traffic with green roofs**, 2009.

ZHOU, Q.; LENG, G.; SU, J; REN, Y. Comparison of urbanization and climate change impacts on urban flood volumes: Importance of urban planning and drainage adaptation. **Science of the Total Environment**, [s. l.], 2019.