

TELHADO VERDE: UMA ANÁLISE DA EFETIVIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA APLICAÇÃO EM UNIDADES RESIDENCIAIS

Fabianny de Almeida Moreira¹
Regina de Amorim Romacheli²

Resumo: Este artigo apresenta um protótipo de telhado verde sob telhas de fibrocimento demonstrando a sua instalação e discussão sobre questões de viabilidade técnica e econômica. O protótipo foi realizado com uma base estrutural metálica de 0,60x0,45, computando uma área de 0,270 m². A solução foi baseada em artigos técnicos publicados em revistas, porém teve as suas adaptações e autenticidades. Foi realizada a impermeabilização da telha com material asfáltico, proteção com lonas, drenagens com conduites padrões e manta bidim, substrato convencional e grama esmeralda. A evolução do protótipo, quanto ao seu funcionamento foi observado por dois meses e extrapolados para uma residência unifamiliar utilizada como objeto de estudo. Ao se analisar a relação entre peso, estrutura atual da residência e ainda as manutenções do sistema, verificou-se que haverá a necessidade de reforço por caibros e terças, antes da aplicação do telhado, o que deve aumentar o custo de execução da obra. Por outro lado, o custo com o sistema em si é de apenas R\$ 50,75 o m² e traz com ele relevantes reduções de custo em energia, reter a água da chuva em até 70%, prevenindo futuras enchentes e diminuindo a saturação das redes pluviais públicas; a temperatura ambiente do local, assim reduzindo as ilhas de calor; do isolamento acústico; além de proporcionar um ambiente confortável visualmente.

Palavras-chave: Construção. Cobertura. Vegetação. Sustentabilidade. Drenagem.

GREEN ROOF: AN ANALYSIS OF TECHNICAL AND ECONOMIC EFFECTIVENESS OF APPLICATION IN RESIDENTIAL UNITS

Abstract: This article presents a prototype of a green roof under fiber cement tiles demonstrating its installation and discussion on issues of technical and economic feasibility. The prototype was made with a metallic structural base of 0.60x0.45, computing an area of 0.270 m². The solution was based on technical articles published in magazines, but had its adaptations and authenticities. The waterproofing of the tile with asphalt material, protection with tarpaulins, drainages with standard conduits and bidim blanket, conventional substrate and emerald grass were carried out. The evolution of the prototype, in terms of its functioning, was observed for two months and extrapolated to a single-family residence used as an object of study. When analyzing the relationship between weight, current structure of the residence and the maintenance of the system, it was found that there will be a need for reinforcement by rafters and thirds, before applying the roof, which should increase the cost of carrying out the work. On the other hand, the cost of the system itself is only R \$ 50.75 per m² and brings with it relevant cost reductions in energy, retaining rainwater by up to 70%, preventing future floods and reducing the saturation of public rainwater networks; the ambient temperature of the place, thus reducing heat islands; sound insulation; in addition to providing a visually comfortable environment.

¹ Discente do curso de Engenharia Civil do Curso do Centro Universitário de Goiás – UNIGOIÁS. Lattes: E-mail: fabianny.alm23@gmail.com Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8759979960131831> Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4665-382X>

² Professora Adjunta do Centro Universitário de Goiás – UNIGOIÁS. Mestre em Gestão Econômica do Meio Ambiente pela UNB. Especialista em Gestão Empresarial pela UFRJ. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0261519721180926> Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9160-068X> E-mail: regina.amorim@unigoias.com.br

KEYWORDS: Construction. Roof. Vegetation. Sustainability. Drainage.

INTRODUÇÃO

Esse artigo é uma pesquisa sobre o telhado verde com foco na efetividade técnica e econômica da aplicação em unidades residenciais, ressaltando a eficiência em telhados de fibrocimento reforçando a questão estrutural, a competência em drenagem e viabilizando os preços e custos.

O impacto ambiental tem sido um problema que vem preocupando a sociedade em relação ao futuro da humanidade. O aumento da população e o crescente processo de industrialização, são um dos fatores negativos que tem perturbado quando o assunto é meio ambiente. Essas ações humanas têm desestruturado o ecossistema, provocando uma mudança drástica na natureza.

Outra causa que tem ampliado os impactos ambientais é a construção civil, que em grande parte degrada expressivas áreas naturais. Com a evolução da tecnologia e o progresso do mercado construtivo, a indústria da construção civil tem procurado respostas que possam minimizar os impactos ambientais e coincidentemente desenvolver construções sustentáveis, e uma das alternativas que contribuem para isso é o telhado verde.

Esta pesquisa amplia os conhecimentos sobre o uso do telhado verde e busca contribuir por meio da investigação acerca da execução da técnica em unidades residenciais, propostas que viabilizem economicamente o emprego da tecnologia, tornando-a mais acessível e disponível.

Justifica-se com essa pesquisa a necessidade da construção civil vir desenvolver diversas técnicas para construções sustentáveis, que visam o aproveitamento da água da chuva, conforto termo-acústico, redução do consumo de energia e que ocasione o mínimo de impacto possível naquela região. Com isso vem surgindo novos conceitos arquitetônicos que visam harmonizar e integrar as construções com o meio ambiente e um desses novos conceitos que se enquadra nessas características é a utilização de telhados verdes ou cobertura verdes, que além de agregar na estética da edificação traz inúmeros benefícios para os moradores, não só os da edificação, mas para toda região.

O objetivo principal desse estudo é analisar a eficiência dos telhados verdes, que é pouco comum nos métodos de construção no Brasil, mostrando conhecimentos e benefícios que esse tipo de estrutura oferece analisando se é viável a instalação ao longo de um tempo. Tem-se também como finalidade observar os tipos de materiais utilizados, além de analisar

a drenagem do telhado verde e a verificação da viabilidade do custo e benefícios ao longo do tempo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa teve como foco desenvolver uma tecnologia de telhado verde que fosse possível ser implantada sob telhas convencionais, saindo do senso comum de que telhados verdes só podem ser implantados sob lajes expostas impermeabilizadas. Essa definição tem como objetivo principal a possibilidade do uso da tecnologia em unidades unifamiliares (de qualquer padrão de execução), comerciais e industriais novas ou usadas, executados com telhado convencional (telhas de fibrocimento ou similar).

Primeiramente foi escolhida a unidade familiar em que seria utilizada como modelo para verificação de capacidade estrutural, área de telhado, insolação, dentre outros. Trata-se uma residência unifamiliar, localizada no Jardins Valência com 213,89 m² de área construída, sendo 151,65 m² de cobertura com laje e telha de fibrocimento e 62,24 m² de cobertura com forro de gesso e fibrocimento, onde foram considerados 27,345 m² para essa pesquisa correspondente a área da garagem. Esta informação é importante para entender as condições estruturais do ambiente que esta recebendo o telhado, e aliar a técnica com as necessidades de manutenção ou reforço estrutural.

A técnica a ser utilizada foi o maior desafio enfrentado na pesquisa, já que a maior parte dos autores apresentam soluções para ambientes com cobertura em lajes impermeabilizadas e expostas, o que não é o objetivo deste trabalho. Sendo assim, para a escolha da técnica mais apropriada, recorreu-se a vários livros, artigos, monografias, teses de mestrado e doutorado, e teve então como apoio técnico, um artigo técnico apresentado pela revista eletrônica CASA ABRIL, onde foi pontuado cada etapa da instalação do telhado verde.

Para o projeto apresentado, será feito testes através de um protótipo para a análise da sobrecarga na estrutura, e assim verificar um reforço estrutural e o aumento de custo em função da estrutura. Foram utilizados dados de projeto, contendo Planta baixa, Corte AA, Planta de situação e a Planta de cobertura. Com o auxílio desses projetos e do memorial descritivo, foi possível a determinação dos parâmetros iniciais para o projeto. Esse sistema foi empregado somente na garagem do estabelecimento, totalizando uma área de 27,345 m².

Com o auxílio do projeto da Planta de cobertura conforme o Apêndice A, foi possível verificar a área total onde o telhado verde será implantado e a inclinação do telhado. A técnica a ser adotada seja estudada e justificada, conforme a especificação da residência, objeto de estudo.

O PROTÓTIPO

Na concepção do protótipo buscou-se reproduzir as condições encontradas na residência, objeto de estudo. O protótipo utilizado na pesquisa teve sua construção concluída no meio do mês de abril de 2021, e foi testado durante um mês. Conforme ilustrado na Figura 2, o protótipo tem por medidas 0,60 m de comprimento e 0,45 m de largura, computando uma área de 0,270 m². O peso antes da rega foi de aproximadamente 10 kg, após a rega passou a ser de 40 kg.

O caimento foi realizado com base na casa unifamiliar com telhado de declividade de 10 %.

TELHADO VERDE – MATERIAL UTILIZADO

Estrutura e Base

A estrutura do protótipo é feita de metalon de chapa 20X20 mm, seguindo parâmetros similares as condições de apoio do telhado e à estrutura da casa que está sendo a base de estudo. A Figura 1, a seguir, ilustra a estrutura utilizada.

Figura 1 – Estrutura do Protótipo



Fonte: Elaboração do autor (2021)

A base continuou sendo a telha de fibrocimento que estava instalada da forma convencional, devidamente apoiada e parafusada sobre a estrutura de metalon que faz o papel de estrutura em uma residência convencional do telhado.

Impermeabilização

30

Sobre a impermeabilização entre a telha e o jardim, foi primeiramente passado camadas de impermeabilizante asfáltica nas duas faces das placas, assim aumentando a resistência, como podemos ver na Figura 2.

Figura 2 – Telha Impermeabilizada



Fonte: Elaboração do autor (2021)

Posteriormente foi aplicado camadas de lona sobre a pintura, três folhas de lona que cobrem a superfície foram o suficiente. Esse material, além de ser completamente imune à passagem de água, é leve o bastante para não prejudicar o projeto conforme ilustrado na Figura 3. Esse acesso da umidade do jardim até as telhas era uma preocupação séria, pois poderia inviabilizar o sistema.

Figura 3 – Implantação da Lona



Fonte: Elaboração do autor (2021)

Drenagem

Em relação à drenagem do sistema e da água da chuva, foram instalados acima da lona os conduítes de escoamento com mangueiras de $\frac{3}{4}$ polegadas, assim acomodados sobre a parte mais profunda das placas e nivelados conforme a Figura 4. Esses condutores foram padronizados com a altura da base e com furos ao longo da mangueira servindo como grandes avenidas para escoar o excesso de água. Os conduítes foram direcionados para uma calha coletora de cano pvc.

Figura 4 – Conduítes de Escoamento



Fonte: Elaboração do autor (2021)

Nesse trabalho devido à inclinação teve o uso de areia e brita nº 0 para melhor filtração da água escoada e como barramento do substrato, além de um compensado para segurar e firmar todo o conjunto. A Figura 5 demonstra o perfil do conjunto.

Figura 5 – Perfil do Protótipo



Fonte: Elaboração do autor (2021)

Manta Geotêxtil

Para a camada filtrante, entre o substrato (terra) e a impermeabilização (lona), foi usado uma manta geotêxtil. Nesse caso foi empregado o bidim, que estará assentada em cima dos conduítes e da camada impermeabilizadora, assim impedindo que as raízes avancem além do limite, além de também cuidar para que o substrato não se desfaça e escorra através dos drenos.

A implantação do bidim pode-se ver de acordo com a Figura 6, que segue.

Figura 6 – Implantação do Bidim



Fonte: Elaboração do autor (2021)

Substrato

Quanto ao substrato, o projeto exigiu uma camada com apenas 7 cm de altura contando com a curva da telha, isso foi suficiente para nutrir as espécies escolhidas, conforme a Figura 7 a seguir. Por sequência na Figura 8, já pode ser visto o protótipo devidamente pronto.

Figura 7 - Substrato



Figura 8 – Protótipo do Telhado Verde



Fonte: Elaboração do autor (2021)

Nas escolhas das plantas, foi eleita a grama esmeralda que obedece a um regime

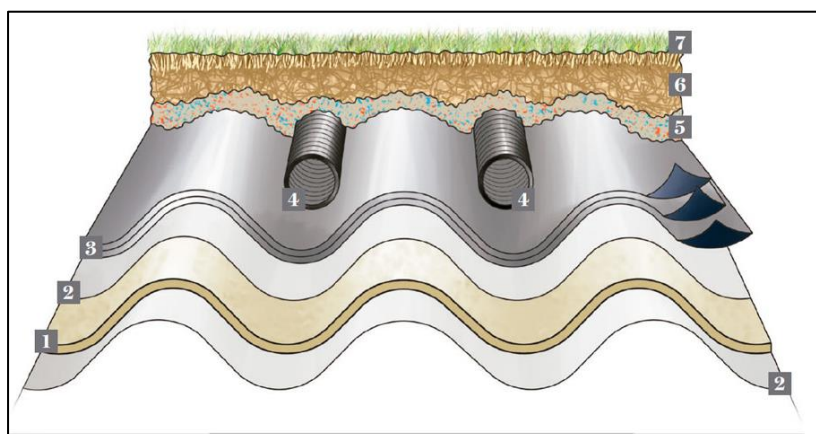
de insolação boa para a região, assim ela se manteve saudável e em equilíbrio. Além disso, possuem também raízes de aproximadamente de 3 cm, o que favorece no tipo de telhado escolhido.

Manutenção

Acerca da manutenção, o substrato oferece durabilidade superior a dez anos, sem a obrigação de reposição, a única exigência são podas discretas quando a grama estiver muito irregular. Outro ponto importante para levar em consideração é a questão de irrigação, para que se tenha esse sistema, é necessário um ponto de água na altura do telhado e um ponto de elétrica se for automatizado.

Na sequência, a (Figura 9) demonstra o perfil das camadas que será apresentado.

Figura 9 – Perfil de Camadas



Fonte: Elaboração do autor (2021)

Comparativo de viabilidade econômica

Buscando realizar a comparação entre o telhado convencional e a implantação do telhado verde, para a residência objeto de estudo, foi considerado as informações do Jornal Valor econômico de março deste ano que apontava o custo nacional da construção por metro quadrado de R\$ 1.319,18 em fevereiro, dos quais R\$ 748,58 foram relativos aos materiais e R\$ 570,60 relativos à mão de obra. Fazendo uma correlação com a área da residência, e a área da garagem usada como modelo para o protótipo foi possível verificar qual seria o custo hoje da estrutura já implantada na residência, com o telhado convencional.

Pensando na necessidade de reforço de terças metálicas sem necessidade de reforço

de estruturas de pilares e vigas, foi considerado um acréscimo de 50% no valor do telhado convencional para esse ajuste na recepção do telhado verde.

O cálculo da viabilidade do telhado foi considerado usando as referências de Goldman (2004) apresentado na Revista Pini, com o total R\$ 37,00/m². Como a referência esta defazada, foi utilizado a atualização do IGP-M (FGV) de 01/2004 a 03/2021, disponibilizada pelo Banco Central, trazendo a referência para os dados atuais.

SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O conceito de sustentabilidade é um assunto complexo, onde sua definição varia de autor para autor, porém todos concordam que esse é um setor emergente não só na construção civil, mas no dia a dia de toda a população, de forma individual ou coletiva. Portanto, o termo sustentabilidade pode ser definido como uma situação que se deseja permitir a continuidade da existência humana e da sociedade, ou como uma busca por integrar aspectos econômicos, culturais, sociais e ambientais da sociedade humana como uma principal preocupação de se preservar, para que a habilidade e capacidade das gerações futuras, além dos limites do planeta, não sejam comprometidos (ARAÚJO, 2007).

De acordo com Côrrea (2009), a consciência da construção sustentável deve estar presente em todo o ciclo de vida do empreendimento, começando desde sua concepção até sua renovação, desconstrução ou demolição. Faz-se necessário um detalhamento do que pode ser feito em cada fase na obra, comprovando aspectos e impactos ambientais e como estes itens devem ser utilizados para que se tenha um empreendimento que seja ao mesmo tempo, ideia, implantação e moradia sustentáveis.

A AsBEA – Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura e o CBCS – Conselho Brasileiro de Construção Sustentável e outras instituições apresentam diversos princípios básicos da construção sustentável, dentre os quais destaca-se:

- redução do consumo energético;
- redução do consumo de água;
- reduzir, reutilizar, reciclar e dispor corretamente os resíduos sólidos;
- introduzir inovações tecnológicas sempre que possível e viável;
- educação ambiental: conscientização dos envolvidos no processo.

Em vigor desde 2013, a NBR nº 15575-1 – requisitos gerais (ABNT, 2013), conhecida como norma de desempenho, tem como assunto principal o controle dos indicadores de desempenho de edificações habitacionais. A norma relaciona que o bom desempenho de uma edificação habitacional possa ser avaliado de acordo com sua capacidade de atender às necessidades humanas. Assim, inclui várias áreas, como estabilidade estrutural, desempenho térmico, luminoso e acústico, resistência contra fogo e ainda, os sistemas hidrossanitários. Ela inclui também questões de sustentabilidade e controle do impacto ambiental das obras.

TELHADOS VERDES

Segundo Benetti (2013) telhado verde, cobertura verde ou biocobertura é um sistema construtivo que consiste na implementação de uma área verde sobre lajes e telhados. Dependendo das condições climáticas da região essa área verde pode ser com plantas ou hortaliças. Em uma época onde o mundo discute sobre sustentabilidade, a aplicação desse tipo de cobertura vem ganhando força como uma solução para tentar integrar e diminuir os impactos da construção no ambiente e como uma tentativa de controle do efeito estufa e diminuição das ilhas de calor (BENETTI, 2013)

Diferente do que se pensa o telhado verde não é uma técnica construtiva nova, seus primeiros indícios de utilização são do ano 600 a.C., antiga Mesopotâmia, atualmente o Iraque, naquela época era conhecido como “jardim suspenso da Babilônia”. Historicamente, o rei Nabucodonosor realizou esse tipo de construção para alegrar sua esposa que tinha saudade de árvores da Pérsia. Naquela época as construções que possuíam esse tipo de jardim eram conhecidas como Zigurates, sendo o mais famoso o de Etemenanki, na Babilônia, ele possuía 91 metros de altura e uma base de 91x91 metros (QUINTELLA, 2012)

Segundo Quintella (2012) durante a década de 30 os telhados verdes voltam a ser discutidos como uma forma de recuperar as áreas verdes que as construções estavam destruindo. Porém só na década de 60 com a real preocupação com destruição que a construção estava realizando no ambiente, o telhado verde entra de vez na pauta de construções sustentáveis ficando conhecida no Norte da Europa como uma “solução verde”.

Ao longo dos anos vem surgindo novas pesquisas sobre os mais diversos componentes da cobertura verde, como membranas impermeabilizantes, drenagem, tipo de

vegetação, inibidores de raízes, dentre outros. A partir da década de 80, começa a aparecer na Alemanha, o desenvolvimento do telhado verde, sendo esse estimulado por leis municipais, estaduais e federais, que subsidiavam de 30 a 40 marcos alemães por metro quadrado de cobertura construída, com uma média de 15% a 20% ao ano. Com o passar dos anos, surgiram novas pesquisas sobre diferentes componentes da cobertura com vegetação, como membranas impermeabilizantes, drenagem, espécies de plantas e até agentes inibidores de raízes. (QUINTELLA, 2012)

Laroche et al. (2004) diz que a execução de uma cobertura verde é feita através da instalação de diversas membranas de impermeabilização e de isolamento, que permitem que na estrutura de cobertura seja instalada uma camada de substrato, variando a profundidade, e através do crescimento que o substrato influencia, possa florescer vegetais, como gramas e outros tipos de vegetações.

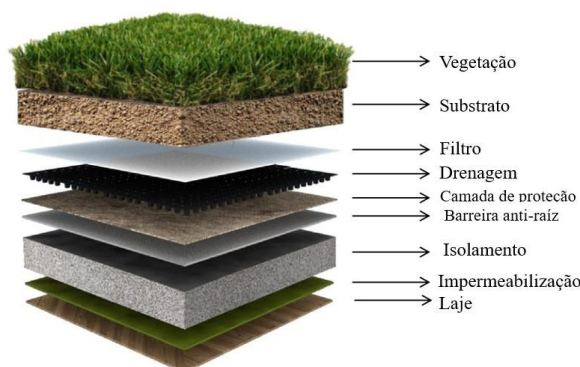
Telhados verdes são usualmente divididos em três tipos:

- intensivo;
- extensivo;
- semi-intensivo.

Essa classificação afeta diretamente na determinação de que tipos de vegetação serão utilizados, e o cenário final da construção. Telhados verdes intensivos são caracterizados por uma camada de substrato maior que das outras duas classificações. Por esse motivo, esse sistema é capaz de suportar vegetações maiores, arbustos e até mesmo, eventualmente, árvores. Entretanto, demanda manutenção intensa e constante. Já os telhados verdes extensivos são caracterizados por uma camada pequena de substrato, limitando ao uso de vegetações rasteiras e de pequeno porte. Não necessita de manutenção, contudo, eventuais regas e fertilizações podem vir a serem necessárias. Por fim, telhados verdes semi-intensivos são caracterizados entre um meio termo entre os outros dois sistemas (CLEMENTE e ARAÚJO, 2019)

De acordo com Vijayaraghavan (2016), dependendo do local a serem construídos, e dos resultados pretendidos, telhados verdes podem englobar uma série de camadas componentes, conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 10 – Possíveis Camadas de Componentes de Coberturas Verdes



38

Fonte: VIJAYRAGHAVAN,2016. Adaptado.

Para que telhados verdes sejam uma solução sustentável e também capazes de atender às expectativas de seus usuários, a seleção eficiente de materiais é de vital importância (VIJAYARAGHAVAN, 2016).

MÉTODOS CONSTRUTIVOS DO TELHADO VERDE

Segundo Souza (2009), os métodos utilizados para se construir coberturas verdes pode ser dividido três tipos: sistema modular, sistema alveolar e sistema laminar. Eles estão ligados ao gerenciamento de água para adaptar o telhado verde de acordo com o tipo de revestimento presente, incluindo os diferentes tipos de plantas e sistemas hidrológicos.

Sistema Modular

O sistema modular é o mais aplicado, pois garante conforto térmico e tem uma rápida instalação, segundo a Ecotelhado (2010). Ela consiste em módulos pré-vegetados, colocados uma ao lado do outro e sobre a membrana anti-raízes. Pode ser instalados em lajes e telhados já existentes, lajes de concreto impermeabilizadas, telhados de fibrocimento, metálicos e estrados de madeira, inclinados ou não, e o peso desse sistema varia em torno de 50 kg/m² quando saturado. (RIGHI, 2016). Segundo Saddi e Moura (2010) o processo de instalação do sistema modular consiste em três etapas:

- Primeiramente os módulos são inseridos sobre a camada anti-raíz composta de polietileno de alta densidade, com a função de impedir o crescimento das raízes e comprometer a camada de impermeabilização da estrutura.

- Após a primeira etapa, logo acima é instalada a membrana de retenção de nutrientes compostas por um não-tecido reciclado, que retêm a umidade e os nutrientes essenciais para o crescimento da vegetação.
- Logo após são instalados os módulos de substrato rígido, que possui a finalidade de sustentar e preservar os substrato e nível das plantas e também funciona como uma camada de drenagem, que permite o desempenho desta propriedade e ao mesmo tempo evita que as raízes sejam amassadas, proporcionando a oxigenação delas.

Sistema Alveolar

O sistema alveolar é composto por uma membrana alveolar Spéctar Copoliéster Reciclado (PETG), que é a principal diferença, quando se comparada ao sistema modular. Essa membrana é flexível e é composta por vários reservatórios de formato hexagonal, pois esse sistema permite fazer uma reserva de água para a vegetação. (SADDI, MOURA, 2010)

Segundo Saddi e Moura (2010) a membrana é fornecida em placas de 121 x 95 cm com espessura de 200 micras e tem a função de ser uma camada drenante que ao mesmo tempo consegue reservar água para as raízes da vegetação (capacidade de retenção de 10 L/m²). Por causa da retenção de água é possível utilizar maior variedade de plantas, incluindo gramíneas que não é recomendado para o sistema modular. Por causa da maior quantidade de água retida este sistema é um pouco mais pesado variando em torno de 60 kg/m² quando são utilizadas plantas pré-cultivadas.

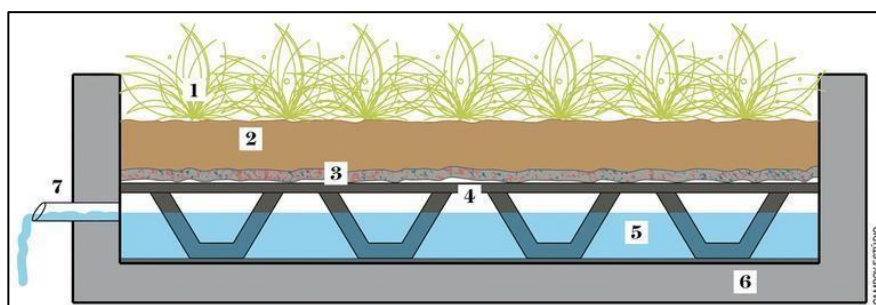
Sistema Laminar

O sistema laminar é um sistema que usado exclusivamente em telhados planos, pois ele consiste na utilização de uma lâmina de água sob um piso elevado, constituído de módulos de sustentação com base em materiais porosos. (SADDI, MOURA, 2010). Essa lâmina fornece suprimentos de até 40 litros por metro quadrado e por causa disso o peso do sistema saturado chega a ser de até 120 quilos por metro quadrado, porém pode ser superior a isso dependendo do tipo de vegetação que se irá utilizar. (SADDI, MOURA, 2010)

De acordo com Bianchi (2017) o sistema laminar é constituído, como mostrado na Figura 11, das seguintes camadas: 1 é a vegetação a ser instalada; 2 é o substrato leve e nutritivo; 3 é a membrana de absorção ou membrana anti-raíz; 4 é o modulo laminar, rígidos, porosos, feitos normalmente de EVA e aglomerados de cimento Portlan CP-IV; 5

é a lâmina 43 d'água, normalmente atinge no máximo 4 centímetros de altura; 6 é a impermeabilização feita na laje; 7 é o dreno instalado pra fazer a retirada da água quando ela chegar a certa altura, essa água que extravasa pode ser lançada em uma caixa de passagem e guiada até um reservatório onde poderá ser reutilizada futuramente.

Figura 11 - Sistema Laminar



Fonte: BIANCHI, 2017

Nesse sistema geralmente é muito utilizado vegetação do tipo gramíneas, pois ela possui uma alta resistência ao pisoteamento, entretanto se a área não for possuir nenhuma movimentação, pode-se utilizar, outras espécies, incluindo pequenos arbustos, desde que, seja observada as suas devidas cargas. (SADDI, MOURA, 2010)

CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS DA TÉCNICA

Segundo Berndtsson (2010), telhados verdes armazenam a água pluvial que adentra seu sistema e atrasam o pico do seu escoamento, comparando com coberturas tradicionais. Isso acontece devido a retenção de volume de água pelas camadas do telhado verde. A água retida é evaporada ou utilizada pelas plantas para seu processo de fotossíntese. A combinação desses dois processos é chamada de foto transpiração, e é este fenômeno que explica a redução do volume de água escoada por telhados verdes.

Oliveira (2009) simula dois eventos de precipitação. O primeiro evento simulado, com intensidade de precipitação de 8,77 mm/h por um período de 13 minutos apresentou atraso do início de escoamento pluvial de 8 min, em comparação com um telhado de fibrocimento. Já o segundo evento de precipitação, com intensidade de 42 mm/h apresentou um atraso de escoamento de 6 min, comparado com o telhado de fibrocimento.

Nascimento (2015) apresenta valores médios de retardo de escoamento em telhados verdes modulares em torno de 12min. Além disso, a autora observou que o início do escoamento dos módulos vegetados ocorreu mais rápido que dos módulos com apenas substrato, principalmente em condição de umidade seca

Costa, Costa e Poletto (2012) e Costa, Poletto e Ramme (2016) desenvolvem pesquisas similares, onde utiliza-se eventos de chuva simulados para monitoramento do desempenho hidrológico de módulos de telhado verde. Em ambos os estudos os telhados retardaram o início do escoamento.

Segundo Vijayaraghavan, Joshi e Balasubramanian (2012), telhados verdes tem emergido como estratégia prática para melhora da qualidade ambiental de centros urbanos, entretanto, o impacto da cobertura verde na qualidade de águas pluviais permanece um tópico de preocupação para planejadores e legisladores. Altas concentrações de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo em águas de escoamento podem levar a eutrofização de corpos de águas de superfície, que pode levar ao aumento da produção de algas e hipóxia (diminuição das taxas de oxigênio) devido à grande quantidade de matéria orgânica decomposta, reduzindo a qualidade da bacia hidrográfica em relação ao habitat de peixes, atividades de recreação e potabilidade da água. (WHITTINGHILL et al., 2016)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos itens a seguir serão apresentadas as discussões de cada ponto importante individualmente, abordando a avaliação de cada indicador, bem como os resultados obtidos. Ao final da apresentação de cada categoria, montou-se um quadro com as notas atribuídas, permitindo melhor análise de cada aspecto do desenvolvimento sustentável.

VOLUME ESCOADO

A estrutura deve suportar toda a carga do telhado verde e para isso deve considerar o peso das plantas em sua fase adulta e a quantidade de água que pode ficar retida no sistema. Para o sistema extensivo com substrato de 5 a 15 cm de espessura, estima-se que a carga sobre o telhado possa aumentar de 70 a 170 kg/m². Para o sistema intensivo, com espessura de solo acima de 15 cm, o valor de carga adicional pode variar entre 290 e 970 kg/m² (HEINENE, 2008)

Foram feitas análises de volume regado e escoado no protótipo durante os meses de Abril e Maio de 2021, e notou-se que houve diferenças de escoamento de um dia para outro. A Tabela 1 apresenta os resultados dos ensaios.

Tabela 1 – Resultado do Volume Escoado

Número do Ensaio	Dia de Realização	Hora de Rega	Volume Adicionado (mL)	Volume Escoado (mL)	Temperatura (°C)	Umidade do ar (%)
1	15/04/2021	08:00	1000	400	19	88 %
2	18/04/2021	09:00	1000	250	18	61 %
3	21/04/2021	07:00	500	200	18	88 %
4	25/04/2021	18:00	1000	250	18	54 %
5	28/04/2021	08:00	500	200	18	83 %
6	01/05/2021	10:00	1000	300	18	73 %
7	04/05/2021	18:00	1000	220	18	50 %
8	07/05/2021	08:00	1000	350	17	83 %
9	11/05/2021	08:00	500	150	18	77 %
10	13/05/2021	17:00	1000	150	17	32 %

Fonte: Elaboração do autor (2021)

Observando as anotações realizadas em 10 dias, correspondentes as regas, dentro do mês pesquisado constatou-se que houve uma alteração entre o volume escoado, que oscilou entre 400 mL e 150 mL, isso significa 37,5 % de diferença.

Essas diferenças de volume de escoamento alteraram de um dia para outro devido algumas interferências como o horário das regas, a temperatura do dia e principalmente ao índice da umidade de água. É possível observar que a alta umidade provoca um tempo de escoamento menor. Provavelmente essa umidade do ar elevada reduz a taxa de evapotranspiração, assim o protótipo não consegue se desfazer da água da última rega e, por isso, diminui sua capacidade de retenção, escoando a água mais rápido.

PESO ESTRUTURAL

Para o protótipo foi feito a pesagem do conjunto seco e molhado. Na área de aproximadamente 0,3 m² com a grama e substrato seco foi pesado 10 kg, e com o substrato saturado o peso foi de 40 kg. Logo pode-se notar que para 1 m² a estrutura terá que suportar aproximadamente 130 kg.

Para a residência unifamiliar que é o estudo de caso desse artigo, a estrutura usada para o telhado convencional não atenderá para o peso da cobertura verde. Logo será necessário um reforço estrutural com mais caibros e terças para ter mais apoios e assim a estrutura suportar o telhado verde.

PREÇOS E CUSTOS

Na Tabela 2, é possível verificar o análise de custo dos materiais necessários para o telhado verde do projeto proposto no trabalho.

Tabela 2 – Orçamento de Materiais

Material	Quantitativo e Cotação			
	Quantidade	Unidade	Valor Unitário	Total
Gramma Esmeralda	27,345	m ²	R\$ 2,00	R\$ 54,69
Impermeabilizante Asfáltico - Vonder	2	Galão (18L)	R\$ 147,00	R\$ 294,00
Conduite Corrugado 3/4 Amarelo Rolo Com 50 Metros	3	Rolo	R\$ 36,01	R\$ 108,03
Manta Geotextil Tipo Bidim 10mts ² Para Drenagem 2,30 X 4,35mt	3	Rolo	R\$ 40,49	R\$ 121,47
Lona plastica preta 4x5m	6	Rolo	R\$ 19,99	R\$ 119,94
Adubo para plantas 25 Litros	3	Saco	R\$ 29,90	R\$ 89,70
Terra Preta para plantio	1	Caminhão	R\$ 600,00	R\$ 600,00
Total				R\$ 1.387,83
Total/m²				R\$ 50,75

Fonte: Elaboração do autor (2021)

Através dos dados apresentados verifica-se que os custos para a instalação do telhado verde na edificação, proposta no trabalho é de R\$ 1.387,83 (mil, trezentos e oitenta e sete e oitenta e três centavos) em materiais.

Considerando a necessidade de reforço entre as terças, para maior sustentação do telhado verde e considerando que as estruturas de pilares, vigas e fundações são suficientes para o suporte, mesmo com o reforço, considerou-se que esta ação custaria 50% do valor da implantação de uma cobertura convencional e ainda que a cobertura corresponde a R\$ 127,16/m² (Goldman, 2004 atualizado pelo IGP-M, 2021). Assim, analisando a viabilidade da solução tem-se que (Quadro 1):

Quadro 1 – Análise da Viabilidade do Custo Total

Área global da construção	213,89 m ²
Custo da construção (Valor Econômico - fev, 2021)	R\$ 1319,18
Valor da obra	R\$ 282.159,40
Custo de cobertura por m ² (Goldman, 2004) atualizado pelo IGP-M (março,2021)	R\$ 127,16
Custo correspondente à cobertura convencional (27,345 m ²)	R\$ 3.477,19
Estimativa de custo com reforço (50% do valor de instalação)	R\$ 1.738,59
Custo previsto com o telhado verde	R\$ 1387, 83
Custo adicional da solução	R\$ 3.126,25
Correspondência com o custo total do imóvel	11%

Fonte: Elaboração do autor (2021)

Portanto, observa-se que a implantação do telhado verde incrementa ao custo da residência em 11%, porém há de se considerar a redução com as tubulações internas de drenagem de águas pluviais e de sistema de drenagem urbana correspondente a redução da vazão de contribuição da unidade. Para além disso entende-se que a viabilidade de um sistema sustentável vai além das questões econômicas e passa por uma responsabilidade cidadã da ocupação urbana, em que os moradores são responsáveis pelos seus impactos e que devem absorvê-los dentro de seu próprio espaço.

CONCLUSÃO

Este artigo apresenta um protótipo de telhado verde sob telhas de fibrocimento demonstrando a sua instalação e discussão sobre questões de viabilidade técnica e análise de custo. O protótipo foi realizado com uma base estrutural metálica de 0,60x0,45, computando uma área de 0,270 m². A solução foi baseada em artigos técnicos publicados em revistas, porém teve as suas adaptações e autenticidades. Foi realizada a impermeabilização da telha com material asfáltico, proteção com lonas, drenagens com conduítes padrões e manta bidim, substrato convencional e grama esmeralda. A evolução do protótipo, quanto ao seu funcionamento foi observado por dois meses e extrapolados para uma residência unifamiliar utilizada como objeto de estudo.

Ao se analisar a relação entre peso, estrutura atual da residência e ainda as manutenções do sistema, verificou-se que haverá a necessidade de reforço por caibros e terças, antes da aplicação do telhado, o que deve aumentar o custo de execução da obra. Por outro lado, o custo com o sistema em si é de apenas R\$ 50,75 o m² e traz com ele relevantes reduções de custo em energia, reter a água da chuva em até 70%, prevenindo futuras enchentes e diminuindo a saturação das redes pluviais públicas; a temperatura ambiente do local, assim reduzindo as ilhas de calor; do isolamento acústico; além de proporcionar um ambiente confortável visualmente.

Por meio dos estudos realizados na revisão bibliográfica por meio do protótipo, constatou-se que o telhado verde é eficiente e habilitado em melhorar aspectos relevantes em construções no qual são instalados como: a drenagem que pode reter a água da chuva em até 70%, prevenindo futuras enchentes e diminuindo a saturação das redes pluviais públicas; a temperatura ambiente do local, assim reduzindo as ilhas de calor; do isolamento acústico; além de proporcionar um ambiente confortável visualmente.

Juntamente pode-se dizer que o sistema adotado nesse trabalho resultou o mais apropriado para a estrutura da edificação em relação ao peso e a inclinação do telhado, com materiais leves e de fácil instalação. Os custos pertinentes no orçamento tiveram como consideração somente os materiais, pois gastos com instalações, frete, estadias de funcionários e outros custos dependem de negociação do contratante com a empresa.

Ao longo do estudo e análise de técnicas para a utilização do telhado verde em telhas de fibrocimento, que foram apresentadas nesse trabalho, conclui-se que é totalmente viável a implantação do mesmo. Entretanto, é necessário um incentivo através de estudos e pesquisas para que alcance a população e que fiquem cientes dessa inovadora técnica e a possibilidade de uma cidade sustentável.

Cabe ressaltar que os resultados apresentados nesta pesquisa apontam para um telhado verde específico, com uma determinada configuração de camadas estabelecida. Contudo, a extrapolação dos resultados obtidos para valores a serem adotados em projeto não é recomendável para todos os tipos de cobertura, visto que cada telhado verde tem um certo comportamento, de acordo com seu projeto e criação.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 15575-1 Norma de desempenho**. 2013. Disponível em: https://www.caubr.gov.br/wp-content/uploads/2015/09/2_guia_normas_final.pdf Acesso: 29/03/2019

ALEXANDRI, E.; JONES, P. **Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. Building and Environment**. [S.I.] v. 43, n. 4, p. 480 – 493. Abril. 2008. Disponível em <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.055>

ARAÚJO, Sidney Rocha. **AS FUNÇÕES DOS TELHADOS VERDES NO MEIO URBANO, NA GESTÃO E NO PLANEJAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS**. 2007. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2007.

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

BENETTI PAISAGISMO. **Telhado Verde**. Disponível em: . Acesso em: 20 nov. 2013.

BERNDTSSON, J. C. **Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. Ecological Engineering**. [S.I.], v. 36, p. 351 – 360, abril, 2010. <http://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.12.014>

BIANCHI, Renato. **Telhado verde: como montar o seu usando sistemas prontos**. 2017. Disponível em: <https://arquiteturaeconstrucao.abril.com.br/sustentabilidade/como-montar-oseu-telhado-verde-usando-sistemas-prontos/Acesso: 14/05/2019>

CARNEIRO, Lucianne. Custo da construção civil aumenta 1,33% em fevereiro, mostra IBGE. **Jornal Valor Econômico**, Rio de Janeiro – RJ, 11 mar. 2021. Notícias – Região.

CLEMENTE, Carlos Vinícius Alves; ARAÚJO, Igor Raffael Pereira Courte. **Utilização do telhado verde na construção civil**. 2019. Trabalho de Conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil), Faculdade Unievangelica, Anápolis, 2019.

CORRÊA, Lásaro Roberto. **SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. 2009. Monografia (Especialização em Construção Civil) - Escola de Engenharia UFMG, Belo Horizonte, 2009.

COSTA, Jefferson da; COSTA, Anderson; POLETO, Cristiano. **Telhado verde: redução e retardo do escoamento superficial. Revista de estudos ambientais**. [S.I.], v. 14, n. 2, p. 50-56. 2012. <http://dx.doi.org/10.7867/1983-1501.2012v14n2p49-55>

ECOTELHADO, **Ecotelhado Sistema Alveolar Leve**. 2010. Disponível em: <https://ecotelhado.com/sistema/ecotelhado-telhado-verde/sistema-modular-alveolar-leve/> Acesso: 05/10/2019

GOLDMAN, Pedrinho. **Introdução ao Planejamento e Controle de Custos na Construção Civil Brasileira**. 4 ed. São Paulo: Editora Pini, 2004.

LAROCHE, Dany et al. **Les Toits Verts aujourd'hui: c'est construire Le Montréal de Demain**. Montréal, 2004. Disponível em: <http://ocpm.qc.ca/sites/ocpm.qc.ca/files/pdf/41/8aa.pdf> Acesso: 03/05/2019

HENEINE, M. C. A. S., "Cobertura Verde", Tese de M.Sc., Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008

47

NASCIMENTO, Claudia Maria Loiola do. **Avaliação das relações chuva-vazão em telhados verdes modulares sob chuva simulada induzida**. 2015. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015

OLIVEIRA, Eric Watson Netto de. **Telhados verdes para habitações de interesse social: retenção das águas pluviais e conforto térmico**. 2009. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

QUINTELLA, Maria Tereza. **A Origem dos Telhados Verdes**. 2012. Disponível em: <http://telhadoscriativos.blogspot.com/2012/03/origem-dos-telhados-verdes.html> Acesso: 29/03/2019

RIGHI, Débora Pedroso et al. **Cobertura Verde: Um uso sustentável na construção civil**. MIX Sustentável, [S.l.], v. 2, n. 2, p. 29-36, set. 2016.

ROTH, Caroline das Graças; GARCIA, Carlos Mello. **Construção Civil e a Degradação Ambiental. Desenvolvimento Em Questão**. 2009. Artigo. Disponível em: <https://www.revistas.unijui.edu.br/index.php/desenvolvimentoemquestao/article/view/169> Acesso: 03/05/2019

SADDI, Karielle Garrido; MOURA, Rúbia Oda. **Coberturas verdes: análise do impacto de sua implantação sobre a redução do escoamento superficial**. 2010. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010

VIJAYRAGHAVAN, K. **Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [S.l.] v. 57, p. 740 – 752, maio. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.119>

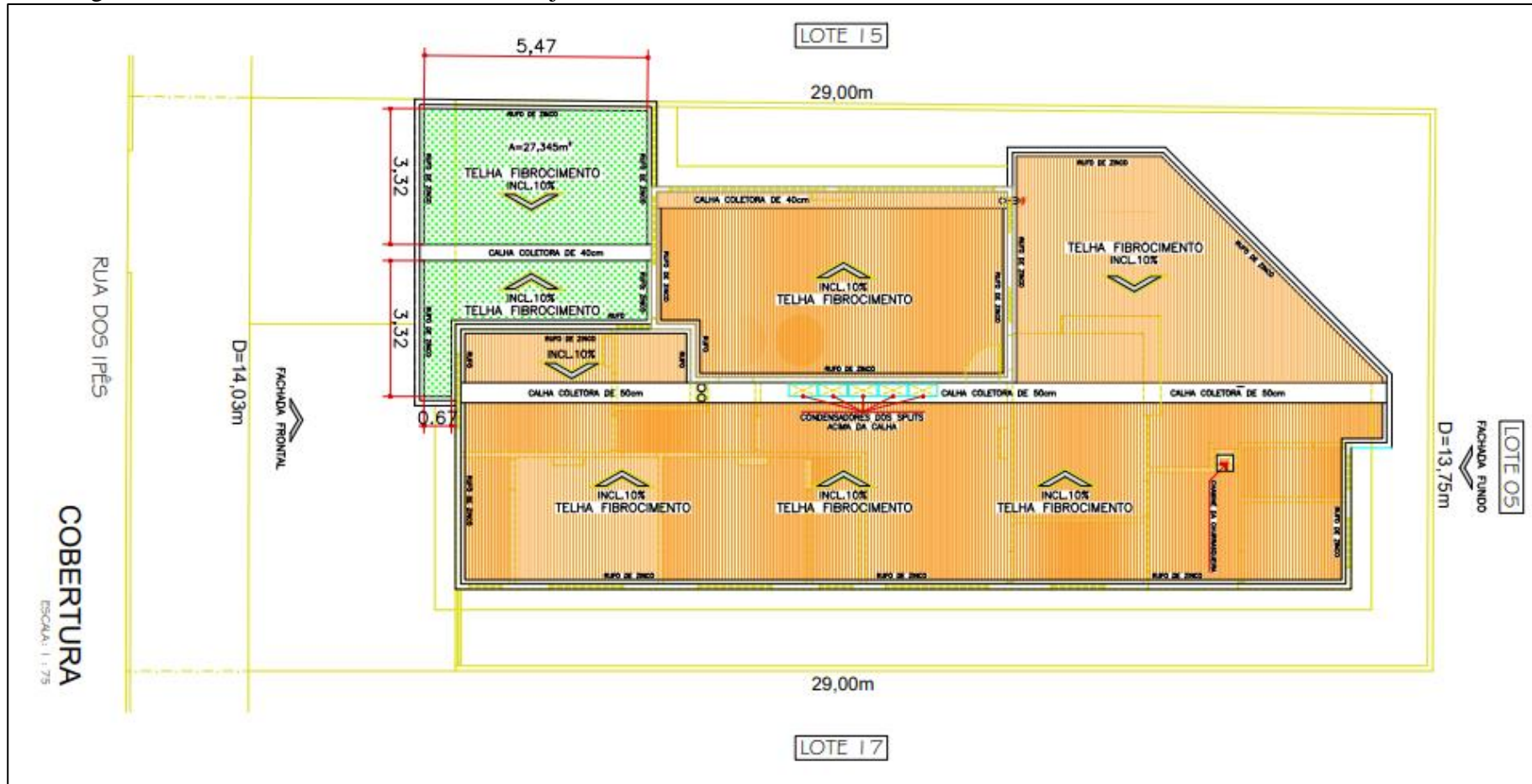
VIJAYRAGHAVAN, K.; JOSHI, U. M.; BALASUBRAMANIAN, R. **A field study to evaluate runoff quality from green roofs**. *Water research*. [S.l.], v. 46, p. 1337 – 1345, mar. 2012. <http://doi.org/10.1016/j.watres.2011.12.050>

WHITTINGHILL, Leigh J.; et al. **Stormwater performance of a full scale rooftop farm: Runoff water quality**. *Ecological Engineering*. 2016.[S.l.], v. 91, p. 195 – 206, jun. 2016. <http://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.01.04>



APÊNDICE A. PLANTA DE COBERTURA DA UNIDADE DE OBJETO DE ESTUDO

Figura 12. Planta de cobertura da unidade objeto de estudo



Fonte: Elaboração do autor (2021)

