

## **Simulação do uso de telhados verdes prontos para atenuação de enchentes urbanas: o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe como estudo de caso**

*Simulation of the use of ready-made green roofs for urban flood mitigation: the Federal Institute of Education, Science and Technology of Sergipe as a case study*

*Simulación del uso de tejados verdes listos para atenuación de inundaciones urbanas: el Instituto Federal de Educación, Ciencia y Tecnología de Sergipe como estudio de caso*

*Simulation de l'utilisation de toits verts prêts pour atténuer les inondations urbaines : L'Institut Fédéral d'Éducation, de Science et de Technologie de Sergipe comme une étude de cas*

**Zacarias Caetano Vieira**

[\(OrcID\)](#)

zacariascaetano@gmail.com  
Instituto Federal de Sergipe  
(IFS)

**Sheilla Costa dos Santos**

[\(OrcID\)](#)

arq\_nina@hotmail.com  
Instituto Federal de Sergipe  
(IFS)

**Givaldo Barbosa da Silva**

[\(OrcID\)](#)

givaldo.silva@ifs.edu.br  
Instituto Federal de Sergipe  
(IFS)

**Karinne Santiago Almeida Dantas**

[\(OrcID\)](#)

krnn.santiago@gmail.com  
Instituto Federal de Sergipe  
(IFS)

**Eugênio Figueiredo**

[\(OrcID\)](#)

Albuquerque eugenioefa@gmail.com  
Instituto Federal de Sergipe  
(IFS)

### **Resumo**

O crescimento urbano das cidades tem ocasionado uma maior impermeabilização do solo, provocando assim, um aumento do escoamento superficial, dos picos de vazão e dos pontos de alagamentos. No Brasil, ainda predominam as técnicas convencionais de drenagem, em que o escoamento é transferido para os pontos de jusante da bacia. Tal situação torna necessária a implantação do conceito de cidades sustentáveis, sendo que uma das ações para se obter uma maior e melhor qualidade de vida nas grandes cidades é a utilização de “telhados verdes” em residências e edifícios. Diante do exposto, o presente trabalho simula a substituição dos telhados convencionais por telhados verdes prontos de diferentes modelos e capacidades de retenção no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe (IFS) – Campus Aracaju, e estima o volume de água pluvial jogado no sistema de drenagem urbano em ambos os telhados, e, posteriormente, realiza o estudo da redução de vazão conseguida em cada caso simulado. Para realização da simulação foram utilizados quatro sistemas de telhado verdes prontos, com capacidades de retenção de água variando de 25 l/m<sup>2</sup> até 160 l/m<sup>2</sup>, e considerados os dados pluviométricos diários dos anos de 2011 e 2012. Os resultados mostraram uma redução do volume de água jogado no sistema de drenagem variando de 76,54% até 96,64% para os diferentes sistemas. Conclui-se com os resultados obtidos que a utilização desses sistemas, pode contribuir significativamente com a redução das enchentes urbanas, desde que, seu uso seja coletivo e inserido na urbanização das cidades.

**Palavras-chave:** Cidades sustentáveis. Coberturas verdes. Escoamento superficial.

### **Abstract**

The urban city growth has been causing a higher soil impermeability, leading to a rise of the superficial outflow, of the water flow peaks and of the flood points. In Brazil, conventional drainage techniques still predominate, where the flow is transferred to the points downstream of the basin. The described scenario makes it necessary to implement the concept of sustainable cities, being the use of “green roofs” in houses and buildings one of the actions made in order to get a bigger and better life quality in the big cities. In the light of what was exposed, this work aims to simulate the substitution of the conventional roofs for ready-made green roofs of different models and retention capabilities in the Federal Institute of Education, Science and Technology of Sergipe (IFS) – Campus Aracaju, and to appraise the volume of the pluvial water thrown in the urban drainage system in both kinds of roofs, and lately, make a study of the reduction of the flow gotten from each simulated case. To make the simulation four systems of ready-made green roofs have been used, their water retention

capabilities varying from 25 l/m<sup>2</sup> to 160 l/m<sup>2</sup>, and daily pluvial data from 2011 and 2012 have been considered. Results show a reduction of the water volume thrown in the drainage system varying from 76,54% to 96,64% in the different systems. In conclusion, the obtained results show that the use of those systems can contribute significantly with the decrease of the urban floods, since its use is collective and inserted in the cities urbanization.

**Keywords:** Sustainable Cities. Green Covers. Superficial Drainage.

### Resumen

El crecimiento urbano de las ciudades ha provocado una mayor impermeabilización del suelo, causando un incremento del drenaje superficial, de los picos de caudal y de los puntos de inundaciones. En Brasil todavía predominan las técnicas convencionales de drenaje, en que el desagüe es transferido para otros puntos de corriente de la bacía. Esta situación haz necesaria la implementación del concepto de ciudades sostenible, siendo que una de las acciones para obtener una mayor y mejor calidad de vida en las grandes ciudades es la utilización de “tejados verdes” en residencias y edificios. Ante eso, el presente trabajo objetiva simular la sustitución de los tejados convencionales por tejados verdes listos de diferentes modelos y capacidades de retención en el Instituto Federal de Educación, Ciencia y Tecnología de Sergipe (IFS) – Campus Aracaju, y calcular el volumen de agua pluvial tirado al sistema de drenaje urbano en los dos tipos de tejado y después, realizar el estudio de la reducción de caudal lograda en cada caso simulado. Para la realización de la simulación fueron utilizados cuatro sistemas de tejados verdes listos, con capacidad de retención de agua variando de 25 l/m<sup>2</sup> até 160 l/m<sup>2</sup>, y considerados los datos pluviométricos diarios de los años de 2011 y 2012. Los resultados enseñaron una reducción del volumen de agua tirado al sistema de drenaje variando de 76,54% hasta 96,64% para los diferentes sistemas. Concluimos con los resultados obtenidos que la utilización de estos sistemas puede ayudar significativamente en la disminución de inundaciones urbanas, desde que su uso sea colectivo e inserido en la urbanización de las ciudades.

**Palabras-clave:** Ciudades Sostenibles. Tejados Verdes. Drenaje Superficial.

### Résumé

La croissance urbaine des villes cause une augmentation de l'imperméabilisation du sol, en provoquant, ainsi, un accroissement de l'écoulement de surface, de les pics d'écoulement et de points d'inondation. Les techniques classiques de drainage, où l'écoulement est transféré pour l'eau en aval chez le bassin sont encore très commun au Brésil. Cette situation rend nécessaire la mise en œuvre du concept de ville durable. Une importante action pour améliorer la qualité de vie dans les grandes villes est l'utilisation de «toits verts» dans les maisons et dans les bâtiments. Donc, ce travail a trois objectives: simuler le remplacement des toits conventionnels par des toits verts prêts à utiliser de différents modèles et capacités de rétention chez l'IFS. Ensuite, estimer le volume d'eau de pluie joué dans le système de drainage urbain sur les deux toits, et finalement, mener l'étude de la réduction de débit obtenue dans chaque cas simulé. Pour mettre en oeuvre la simulation, quatre systèmes de toits verts ont été utilisés. Ils ont eu des capacités de rétention d'eau en variant de 25 l/m<sup>2</sup> jusqu'à 160 l/m<sup>2</sup>. Les données pluviométriques évalués sont ceux des années de 2011 et 2012. Les résultats montrent une réduction du volume d'eau joué dans le système de drainage en variant de 76.54 % à 96.64 % pour les différents systèmes. On peut conclure, avec les résultats, que l'utilisation de ces systèmes, peuvent contribuer de manière significative à la réduction des inondations urbaines, à condition que son usage soit collectif et inséré dans l'urbanisation des villes.

**Mot-Clés:** Villes Durées. Toits Verts. Écoulement de Surface.

## 1 Introdução

Com o acelerado processo de crescimento populacional nos centros urbanos, e, conseqüentemente, a impermeabilização do solo, os sistemas de drenagem das águas pluviais se tornaram insuficientes, devido ao aumento do escoamento superficial, picos de vazão e pontos de alagamentos (JOBIM, 2013). Calil, Bernardi e Righes (2016) relatam que no Brasil ainda predominam as técnicas convencionais de drenagem, em que o escoamento é transferido para os pontos de jusante da bacía. Atualmente, tem-se tornado mais frequente a adoção de medidas que visam atenuar a geração das enchentes urbanas, tais como: adoção de superfícies permeáveis, construção de reservatórios de retenção de águas pluviais (poços

de infiltração) e uso de telhados verdes, entre outros. Segundo Goes, Jesus e Cardoso Júnior (2014), em 2014 foram identificados 57 pontos de alagamentos em Aracaju – SE, e verificou-se que a maioria desses se localiza na zona norte da cidade, no bairro Centro e nos bairros adjacentes como o Getúlio Vargas, Cirurgia, Suissa, São José, Treze de Julho, Santo Antônio e Industrial, onde ocorre a maior concentração da população, uma vez que foi nessa região que se iniciou o processo de urbanização da cidade; também observaram a presença de pontos de alagamento na zona sul da cidade, no bairro Coroa do Meio, Farolândia e Atalaia, que são bairros caracterizados por uma ocupação mais recente, porém, com sérios problemas de drenagem. Como exemplo, pode ser citado o estudo realizado por Santana, Santos e Leahy (2015) em uma área de drenagem de 4,84 Km<sup>2</sup>, formada pelas confluências dos Canais de águas pluviais das Avenidas Gentil Tavares e Visconde de Maracaju, que juntas formam o canal de drenagem urbana da Avenida Airton Teles, localizados na porção norte da cidade, adjacentes ao centro de Aracaju. Neste trabalho, foi demonstrado que a microbacia em questão sofre com a urbanização e a impermeabilização do solo, responsáveis pela obstrução de dispositivos de drenagem urbana como as bocas coletoras, os bueiros, as galerias e as travessias, ocasionando estrangulamentos de várias seções do Canal, gerando enchentes e inundações ao longo da microbacia da Airton Teles. Diante do exposto, o presente trabalho realizou uma revisão bibliográfica sobre telhados verdes modulares pré-fabricados, também chamados de sistemas prontos, e simulou a substituição dos telhados convencionais por esses sistemas no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe (IFS) – Campus Aracaju. Foram utilizados quatro sistemas de telhados verdes prontos: Hidromodular, Hexa, Alveolar Leve e Laminar Alto, cujas capacidades de retenção variam de 25 l/m<sup>2</sup> até 160 l/m<sup>2</sup>. Utilizando as chuvas diárias dos anos de 2011 e 2012, foi estimado o volume de água pluvial jogado no sistema de drenagem urbano em ambos os telhados, e posteriormente, indicado a redução de vazão conseguida em cada caso simulado.

## **2 Metodologia**

Este trabalho consiste inicialmente na realização de uma revisão bibliográfica sobre telhados verdes, especificamente, sobre os telhados verdes modulares pré-fabricados, também chamados de sistemas prontos, onde foram indicadas as partes que compõem cada sistema, a capacidade de retenção, o sobrepeso gerado na estrutura, bem como algumas recomendações do fabricante sobre sua montagem. Com os dados de chuva do período analisado e a área de cobertura do local, foi calculado o volume de chuva jogado no sistema de drenagem urbana, considerando inicialmente os telhados convencionais, e, posteriormente, simulando a implantação dos telhados verdes prontos escolhidos. Finalmente, foi apresentado o volume retido em cada sistema e a redução da vazão conseguida em cada caso.

### **2.1 Definições de Telhado Verde**

“Telhado verde” é uma técnica arquitetural que consiste em aplicar solo e vegetação sobre estruturas de cobertura impermeáveis, em diversos tipos de edificações (KORZENIESKI, 2016). Segundo Baldessar (2012), com o conceito da *green architecture*, os telhados com cobertura vegetal agregam um conceito atual de cidades verdes, e cujo uso é, sem dúvida alguma, um possível potencial a ser explorado. Segundo Vieira, Silva Júnior e Ribeiro (2015), nas coberturas convencionais, a maior parte da água que incide sobre o telhado escorre diretamente para o sistema público de águas pluviais, ocasionando assim, altas vazões momentâneas que muitas vezes geram as inundações urbanas. Esses mesmos autores relatam que o princípio do telhado verde consiste no retardamento desse volume escoado, visto que um volume maior de água se infiltra, sendo grande parte evaporada, e assim o volume que escorre para o sistema de drenagem é bem menor.

### **2.2 Benefícios do uso de telhado verde**

A utilização de telhados verdes traz inúmeras vantagens tanto para a edificação, quando é feita a análise de seu uso individualmente, quanto para o meio urbano, quando se analisa o seu uso coletivo. A seguir são elencados alguns benefícios, oriundos do uso das coberturas verdes:

#### **2.2.1 Estético e terapêutico**

Suavizam as paisagens dos centros urbanos, tornando-se uma solução eficiente para o aumento das áreas verdes, havendo a possibilidade de criar jardins onde antes não havia espaço (RANGEL; ARANHA; SILVA, 2015).

## 2.2.2 Geração de renda

Possibilidade de geração de renda, com o cultivo de plantas ornamentais, medicinais e temperos domésticos; já sendo uma realidade em alguns países do mundo e possibilitando profissionalizar e empregar pessoas, caso os produtos sejam comercializados, proporcionando um novo segmento socioeconômico (RANGEL; ARANHA; SILVA, 2015).

## 2.2.3 Produção de alimentos

As coberturas verdes oferecem uma oportunidade de plantarem alimento saudável, particularmente em áreas de alta densidade urbana onde em espaços de pequenos jardins podem substituir plantas ornamentais por alimento (HENEIDE, 2008 apud PEREIRA et al., 2015).

## 2.2.4 Aumento da vida útil da cobertura

Telhados verdes reduzem os efeitos danosos dos raios ultravioletas, os extremos de temperatura e os efeitos do vento, uma vez que nesses telhados a temperatura não passa de 25° C contra 60° C dos telhados convencionais (RIGHI et al., 2016). Essa característica contribui para o aumento da vida útil da cobertura.

## 2.2.5 Eficiência energética

Costa, Coelho e Pereira (2015) realizaram um experimento no qual foram construídas duas casas idênticas de alvenaria com laje, com as mesmas características de localização e incidência de luz solar, diferindo apenas na cobertura, sendo uma com cobertura de telhado verde, e outra com telha cerâmica. Utilizando sensores de temperatura, verificou-se que o telhado com cobertura verde colabora para a diminuição da temperatura interna da casa, reduzindo o consumo de energia gasto para o resfriamento de ambientes, em locais quentes e úmidos, e diminui o impacto ambiental, através da distribuição de áreas verdes em telhados.

## 2.2.6 Biodiversidade

Em ambientes extremamente artificiais como o urbano, a cobertura de telhado verde promove o reequilíbrio ambiental, trazendo os benefícios da vegetação para a saúde pública, e também para a biodiversidade, quando se utilizam plantas nativas do local (COSTA; COELHO; PEREIRA, 2015).

## 2.2.7 Retenção de água da chuva

Áreas incorporadas por telhados verdes apresentam uma maior eficiência na sua capacidade de absorção de água pluvial em relação a um telhado convencional, garantindo uma maior absorção da água pluvial no momento de maior intensidade de chuva (OHNUMA JUNIOR; ALMEIDA NETO; MENDIONDO, 2014).

## 2.2.8 Melhoria da qualidade da água – filtro

Baldessar (2012) cita dois aspectos importantes: o primeiro é que a água da chuva pode ser recolhida em cisternas a partir de telhados e, especificamente em telhados verdes, a água em excesso apresenta redução de agentes poluidores pela ação das vegetações e substratos que funcionam como filtros. O segundo aspecto a ser observado é que, se a água for despejada no sistema de captação de águas pluviais e direcionada aos córregos e rios, estes podem manter-se protegidos pela qualidade da água que recebem, sendo seu volume pouco, não agredindo as margens e nem transportando materiais indesejáveis.

## 2.2.9 Poluição atmosférica

A popularização do telhado verde pode ser uma solução eficiente para os grandes centros urbanos reduzindo a emissão de carbono, atenuando a poluição do ar, filtrando a poluição, o gás carbônico e os poluentes e metais pesados da água da chuva (SILVA, 2011 apud KORZENIESKI, 2016).

### 2.2.10 Isolamento acústico

As camadas do telhado agem como um isolante, funcionando como barreiras acústicas, diminuindo o volume do som de barulhos provenientes do exterior, que acabariam penetrando com mais facilidade na edificação (BALDESSAR, 2012).

### 2.2.11 Redução dos efeitos das ilhas de calor

Nos centros urbanos o uso das coberturas verdes aumenta a área verde da cidade contribuindo com a redução das ilhas de calor e tornando as cidades mais frescas e menos poluídas (GARRIDO NETO, 2012).

### 2.2.12 Redução do escoamento superficial

Os efeitos dos telhados verdes no escoamento superficial consistem em: uma redução no volume e na velocidade da água escoada, devido à capacidade de retenção das plantas e atraso no pico do escoamento, pois ocorre absorção da água no telhado verde (CASTRO; GOLDENFUM, 2008 apud JOBIM, 2013). O uso em larga escala, pode reduzir consideravelmente o risco de enchentes nas cidades.

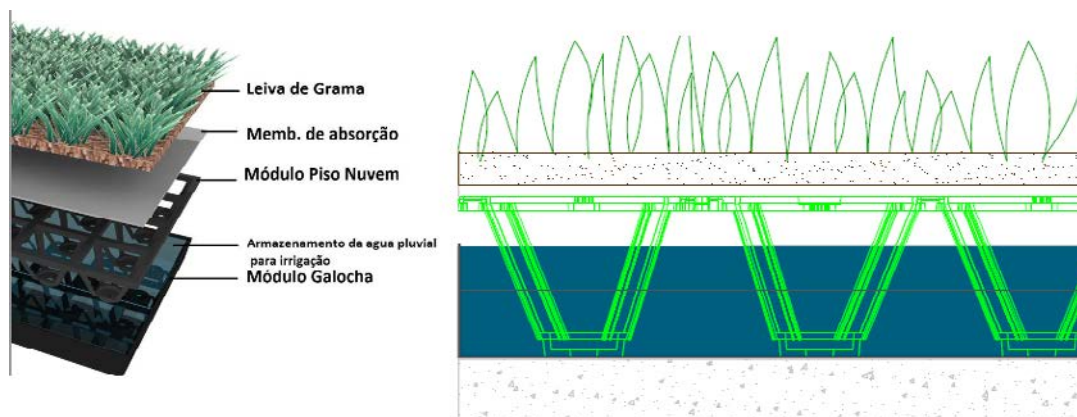
Existem três sistemas de aplicação que configuram os telhados verdes contínuos, modulares pré-fabricados e aéreos. No primeiro caso, o substrato é aplicado diretamente sobre a laje devidamente impermeabilizada e protegida por camadas específicas, de acordo com o clima local, podendo ser camada de impermeabilização, isolante de condensação, de drenagem, de filtragem, substrato etc. Os módulos pré-fabricados apresentam a vantagem da rápida aplicação diretamente sobre a cobertura pronta; consistem em bandejas com o solo, onde as espécies vegetais já foram plantadas e aparentam certo crescimento e, com isso, o resultado é imediato. Por fim, no aéreo a vegetação é plantada separada da cobertura, geralmente utilizando-se plantas trepadeiras que crescem em uma estrutura suspensa sobre o telhado, e por isso mesmo, por não apresentar uma camada de solo sobre o telhado, não possui as mesmas vantagens de redução da insolação incidente nem da diminuição da carga pluviométrica (ECOTELHADO, 2017).

Atualmente, tem sido muito utilizado os módulos pré-elaborados, chamados de telhados verdes prontos, os quais são comercializados e instalados por empresas especializadas, que fornecem os módulos prontos com a vegetação crescida, formados por um sistema de encaixe que agiliza sua montagem, sendo de fácil manutenção. Os telhados verdes prontos caracterizam-se por apresentarem um reservatório de captação de água de chuva cujo volume de retenção dependerá de cada sistema, e o escoamento de água para a rede de drenagem só ocorre após o enchimento desses reservatórios. Para realização da simulação proposta serão utilizados os sistemas da Ecotelhado (2017), descritos abaixo:

## 2.3 Sistema hidromodular

Esse sistema se caracteriza por módulos que são responsáveis pela reserva de água até 50 l/m<sup>2</sup>, proporcionando irrigação da vegetação por capilaridade para lajes com pouco caimento (Figura 1). Este sistema deve ser utilizado apenas em lajes, onde a área de instalação do sistema deverá ter perímetro fechado por uma mureta de no mínimo 12 cm; devendo a laje suportar o peso de 75 kg/m<sup>2</sup>.

**Figura 1** – Sistema hidromodular



Fonte: Ecotelhado (2017)



## 2.4 Sistema hexa

Esse sistema é composto por módulos (placas com reservatório hexagonal) compostos por: membranas de absorção (retém água e nutrientes para as raízes das plantas), argila ou substrato, gel (ajuda a reter umidade) e a vegetação escolhida para cada caso (Figura 2). O local deve suportar o peso de  $108 \text{ kg/m}^2$ , e a capacidade de retenção de água é de  $25 \text{ l/m}^2$ . Altura total do sistema é em média 12 cm, podendo variar conforme vegetação utilizada.

Figura 2 – Sistema hexa

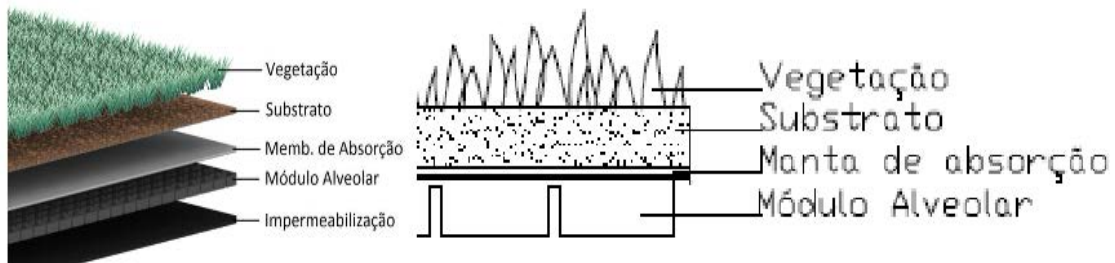


Fonte: Ecotelhado (2017)

## 2.5 Sistema alveolar leve

Esse sistema é composto por um módulo alveolar (placas plásticas semiflexíveis com reservatórios em formato retangular) com os seguintes componentes: membranas de absorção (retém água e nutrientes para as raízes das plantas), substrato, gel (ajuda a reter umidade) e a vegetação escolhida (Figura 3). O local deve suportar o peso de  $80 \text{ kg/m}^2$  e a capacidade de retenção de água é de  $35 \text{ l/m}^2$ . A altura total do sistema é em média 12 cm, podendo variar conforme vegetação utilizada. O local deverá ter uma contenção lateral para o sistema em todo seu perímetro.

Figura 3 – Sistema alveolar leve



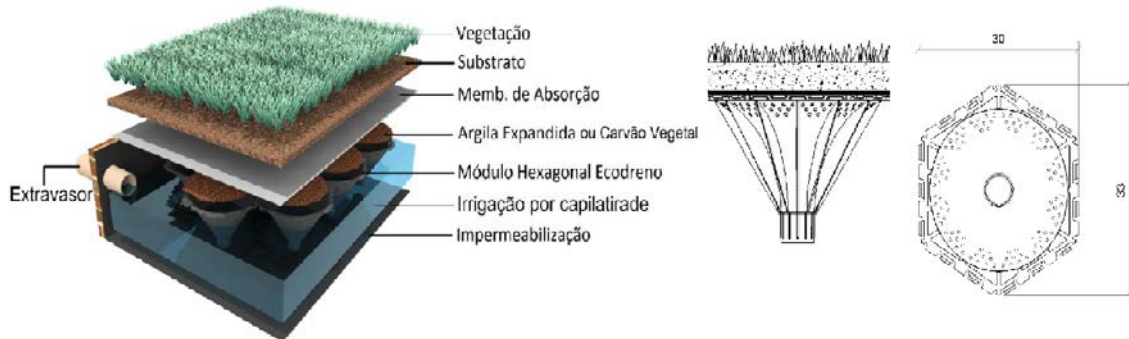
Fonte: Ecotelhado (2017)

## 2.6 Sistema laminar alto

Esse sistema é composto por um módulo rígido de plástico, com as dimensões  $33 \times 30 \times 18 \text{ cm}$  (retenção de água para as raízes da vegetação, reservatório d'água, sem necessidade de irrigação superficial), com as seguintes características: membrana de absorção (sua finalidade é de retenção de água e nutrientes para suprir parcialmente as raízes da vegetação), membrana anti-raízes (proteger a impermeabilização contra as raízes), substrato (retenção de água e nutrientes) e argila expandida (suporte para as raízes, com grande poder de retenção de água), figura 4. O local deve suportar o peso de  $250 \text{ kg/m}^2$  e a capacidade de retenção de água é de  $160 \text{ l/m}^2$ . Deve ser prevista uma caixa de visita para análise do reservatório. A área de instalação do sistema deverá ser com perímetro fechado por uma mureta de no mínimo 25 cm, devendo ser a

laje plana e a mureta impermeabilizada. O escoamento do excesso de água deverá ser feito através de ralos ou busetes laterais (ladrões) que deverão estar localizados a 16 cm de altura da parte superior da laje pronta.

**Figura 4** – Sistema laminar alto



Fonte: Ecotelhado (2017)

Os telhados verdes necessitam, de acordo com a altura do substrato e porte da vegetação utilizada, de uma maior ou menor manutenção. De acordo com a necessidade de manutenção e complexidade dos sistemas são definidas as tipologias dos telhados verdes, as quais serão descritas a seguir.

## 2.7 Tipos de telhados verdes

Segundo o *International Green Roof Association* existem três formas diferentes de telhado verde, a depender do tipo de laje onde deverá ser instalado e os objetivos que se esperam ser alcançados. Dessa forma, têm-se os telhados extensivos, intensivos e semi-intensivos (IGRA, 2017).

Os extensivos caracterizam-se por serem de baixa complexidade e, por sua vez, incidem uma sobrecarga menor na estrutura, seja na laje, nos pilares ou nas fundações. Consequentemente, presta-se para ajardinamentos com plantas de pequeno porte, compostos por vegetação rasteira e arbustos e requerem uma manutenção mais simplificada. Por tudo isso, tem grande potencial de aplicação e difusão, não apenas por questões financeiras, mas também por seu impacto visual. Possibilitando o uso como jardins de cobertura acessíveis a visitação e uso humanos.

Em termos técnicos necessitam de uma camada de solo variando entre 5 e 15 centímetros, assim representando uma carga estrutural de  $80\text{kg/m}^2$  a  $150\text{kg/m}^2$ , respectivamente (IGRA, 2017). Sua implantação vem sendo bastante difundida nos grandes centros urbanos, principalmente nos locais de clima mais ameno onde a insolação direta é menos intensa e, consequentemente, atraindo o seu uso como áreas de lazer, numa espécie de praças verticalizadas com grande possibilidade de tratamento paisagístico (Fig. 5).

**Figura 5** - Exemplo de telhado verde extensivo



Fonte: SustentArqui (2014, *online*)

Os telhados verdes ditos intensivos consistem em estruturas de jardim mais complexas, uma vez que comporta vegetação de médio a grande porte, com uma camada de solo variando de 15 a 40 centímetros e impondo uma carga, sobre a estrutura da construção, entre 180 e 500kg/m<sup>2</sup> (IGRA, 2017). Todos esses fatores implicam em maiores custos, inclusive de manutenção, consequentemente sua empregabilidade torna-se restrita, devendo ser prevista sua implantação desde a fase de projeto.

Trata-se de estruturas ajardinadas de maior impacto visual, inclusive com potencial de uso para além do contemplativo, com a inclusão de horti-frutas e, consequentemente, abrangência comercial de abastecimento de pequenas comunidades ou estabelecimentos específicos. Sua implantação vem sendo intensivamente estimulada principalmente nos grandes centros, na forma de hortas urbanas, com grande apelo à sustentabilidade ambiental e por hábitos mais saudáveis (Fig. 6).

**Figura 6** - Exemplo de Telhado Verde Intensivo



Fonte: SustentArqui (2014, *online*)

Por fim, os telhados semi-intensivos configuram-se com um sistema híbrido entre os dois tipos apresentados anteriormente, apropriando as vantagens de um e outro. Nesse caso, em uma mesma área de cobertura, partes podem ser projetadas para suportar o telhado verde extensivo e outras o intensivo, a depender das condições da estrutura adotada e dos resultados que se pretende alcançar.

Em todo caso, o tipo de telhado verde a ser aplicado depende de uma série de condicionantes, sejam eles estruturais, financeiros e climáticos. Todos os sistemas descritos apresentam vantagens e desvantagens que devem ser consideradas em um estudo detalhado caso-a-caso, com isso, a melhor solução sempre estará condicionada aos objetivos que se deseja alcançar em um determinado espaço de tempo, sem perder de vista os enormes benefícios ambientais que essas estruturas oferecem atualmente, em centros cada vez mais densos e escassos de áreas verdes.

## **2.8 Área de estudo e dados pluviométricos**

Para realização do estudo de caso foi tomada como base as instalações do Instituto Federal de Sergipe (IFS) - Campus Aracaju que funciona nos três turnos, onde atuam servidores (efetivos e terceirizados) e estudantes em diversos níveis de ensino (superior, técnico subsequente, médio-técnico e Educação de Jovens e Adultos - PROEJA) que utilizam seus espaços diariamente (PEREIRA; ALBUQUERQUE; GABRIEL FILHO, 2015). Segundo esses autores, o IFS apresenta em todos os seus blocos (reitoria, salas de aula, laboratórios, refeitório etc) uma área de cobertura total de 12.146,3 m<sup>2</sup>. Para a simulação, foram usados os dados diários de chuvas dos anos de 2011 e 2012, obtidos no site da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado de Sergipe, SEMARH – SE.

## **2.9 Cálculo dos volumes escoados**

Para determinação do volume de água escoado nos telhados convencionais utilizou-se a equação (1) abaixo:

$$\text{Vol} = P \times A \times C \quad (1)$$

Onde P= precipitação em mm, A = área de cobertura em m<sup>2</sup> e C = coeficiente de escoamento superficial (adotamos C = 0,80).



Com relação aos sistemas de telhados verdes prontos com reservatórios de retenção, o escoamento só se inicia após o completo enchimento desses reservatórios. A precipitação é medida em milímetro (mm), sendo este definido como a quantidade de precipitação correspondente ao volume de 1 litro por metro quadrado de superfície. Quando se diz que um sistema tem uma capacidade de retenção de 25 l/m<sup>2</sup>, significa que o reservatório retém os primeiros 25 mm de precipitação, só sendo gerado escoamento a partir do que exceder desses 25 mm. Assim sendo, para calcular o volume de água escoado nos diferentes telhados verdes simulados, utilizou-se a equação (2) abaixo:

$$\text{Vol} = (P - h) \times A \times C \quad (2)$$

Onde P = precipitação em mm, A = área de cobertura em m<sup>2</sup> e C = coeficiente de escoamento superficial (adotamos C = 0,80) e h = altura de precipitação (mm) retida em cada sistema.

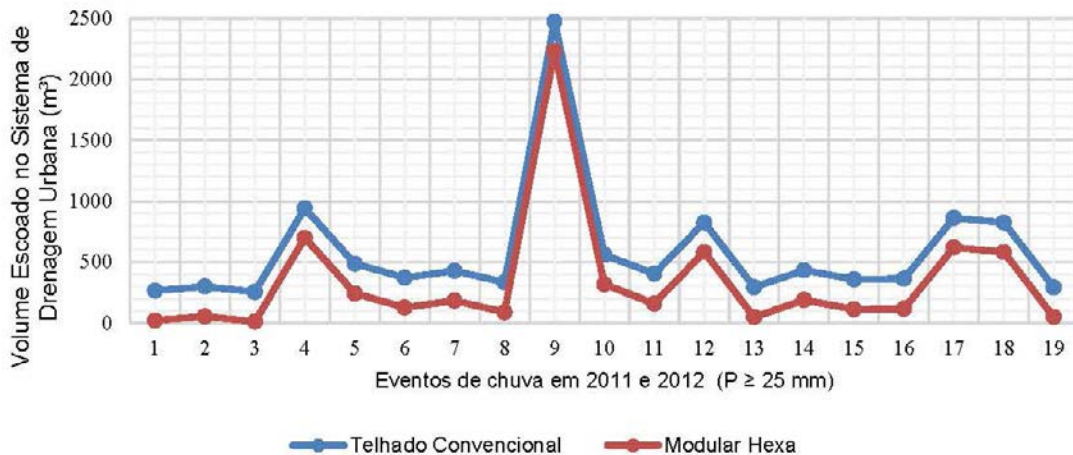
Tem-se assim, os seguintes valores para os sistemas simulados: Hexa (h = 25 mm), Alveolar Leve (h = 35 mm); Hidromodular (h = 50 mm) e Laminar Alto (h = 160 mm).

### 3 Resultados e discussão

#### 3.1 Sistema modular hexa

Nos dois anos analisados (2011 e 2012), ocorreram 19 eventos de precipitação com altura pluviométrica superior a 25 mm, ou seja, que gerariam escoamento caso esse sistema estivesse implantado. O resultado obtido na análise desses eventos é apresentado abaixo (Fig. 7):

**Figura 7** – Comparação dos volumes escoados, em m<sup>3</sup>, no telhado convencional e com sistema Modular Hexa



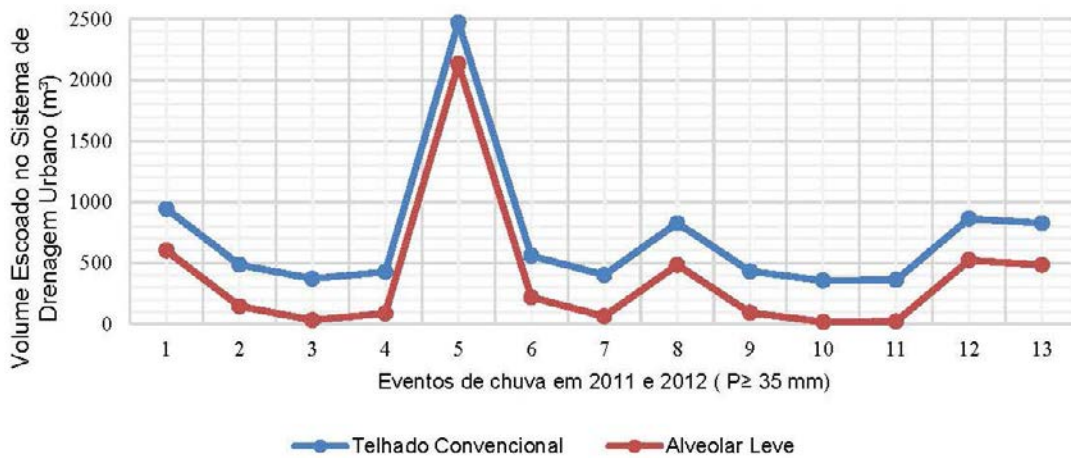
Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

Nos telhados convencionais da escola foram observados um volume total de 27301 m<sup>3</sup> desaguados na rede de drenagem nos dois anos analisados, enquanto que no telhado verde com o sistema Modular Hexa, o volume desaguado na rede de drenagem reduziria para aproximadamente 6405 m<sup>3</sup>, ou seja, uma redução de 76,54%.

#### 3.2 Sistema alveolar leve

Neste caso, nos dois anos analisados, foram observados 13 eventos de precipitação com altura pluviométrica superior a 35 mm, ou seja, que gerariam escoamento caso esse sistema estivesse implantado. O resultado obtido na análise desses eventos é apresentado abaixo (Fig. 8):

**Figura 8** – Comparação dos volumes escoados, em m<sup>3</sup>, no telhado convencional e com sistema Alveolar Leve



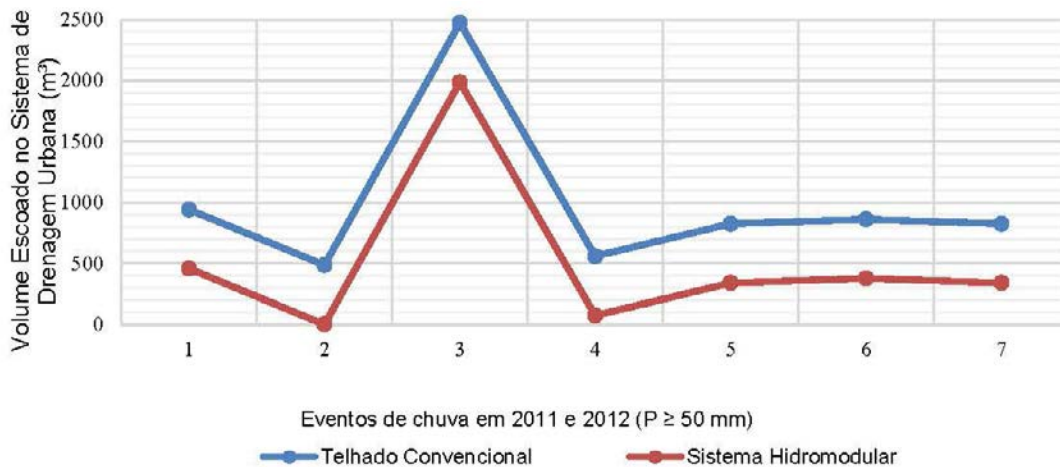
Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

Segundo essa proposta, do volume total desaguado na rede de drenagem no período analisado (27301 m<sup>3</sup>), com utilização do telhado convencional, haveria uma redução de 82,03%, ou seja, com o sistema Alveolar Leve esse volume seria de aproximadamente 4906 m<sup>3</sup>.

### 3.3 Sistema hidromodular

Com base nesse sistema, nos dois anos analisados, foram observados 07 eventos de precipitação com altura pluviométrica superior a 50 mm, ou seja, que gerariam escoamento caso esse sistema estivesse implantado. O resultado obtido na análise desses eventos é apresentado abaixo (Fig.9):

**Figura 9** – Comparação dos volumes escoados, em m<sup>3</sup>, no telhado convencional e com sistema Hidromodular



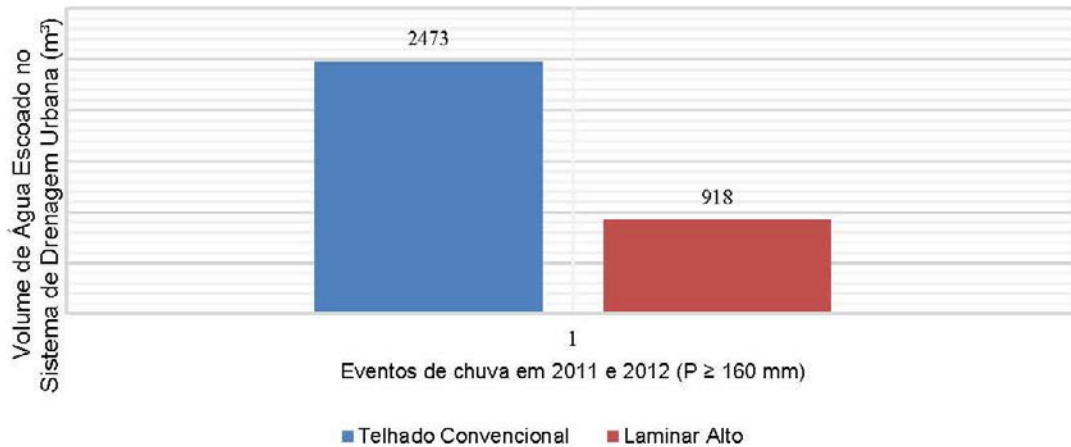
Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

Comparando-se o sistema convencional (27301 m<sup>3</sup> desaguados na rede de drenagem) com o sistema Hidromodular, observa-se uma queda para aproximadamente 3572 m<sup>3</sup>, ou seja, uma redução de 86,92%.

### 3.4 Sistema laminar alto

Nos dois anos analisados, ocorreu apenas um único evento de precipitação com altura pluviométrica superior a 160 mm, ou seja, que geraria escoamento caso esse sistema estivesse implantado. Esse evento ocorreu no dia 24/05/2011 e teve uma magnitude de 254,5 mm. O resultado obtido na análise desse evento é apresentado abaixo (Fig. 10):

**Figura 10** – Comparação dos volumes escoados, em m<sup>3</sup>, no telhado convencional e com sistema Laminar Alto



Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

Obteve-se nos telhados convencionais da escola um volume total de 27301 m<sup>3</sup> **desaguados na rede de drenagem** nos dois anos analisados, enquanto que no telhado verde com o sistema Laminar, o volume desaguado na rede de drenagem reduziria para aproximadamente 918 m<sup>3</sup>, ou seja, uma redução de 96,64%. Vale salientar que o volume apresentado acima (Fig. 8) refere-se a análise de um único evento, enquanto que o total de 27301 m<sup>3</sup> refere-se a todos os eventos do período analisado.

### Conclusão

Com base nos resultados obtidos conclui-se que:

A redução do volume de água jogado no sistema de drenagem urbano pela cobertura do Instituto Federal de Sergipe foi considerável, variando de 20.896 m<sup>3</sup> (76,54%) até 26.383 m<sup>3</sup> (96,64%) com uso dos diferentes telhados verdes prontos para a área de cobertura e dados pluviométricos considerados.

Os eventos de precipitação inferiores a 25 mm foram os que mais contribuíram com a redução do escoamento superficial, tendo em vista que esses são totalmente retidos pelos telhados verdes, e também foram os eventos de maior número de ocorrências, totalizando 376 dos 395 eventos de chuva registrados nos dois anos simulados.

O uso de telhados verdes apresenta vantagens que vão desde o nível individual de edificação (conforto térmico e acústico, aumento da vida útil da cobertura, etc) até o nível coletivo de cidade, podendo contribuir satisfatoriamente com a redução das enchentes urbanas, desde que, seu uso seja coletivo e inserido na urbanização das cidades.

### Referências

- OHNUMA JUNIOR, A. A.; ALMEIDA NETO, P.; MENDIONDO, E. M. Análise da retenção hídrica em telhados verdes a partir da eficiência do coeficiente de escoamento. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 19, n. 2, p. 41-52, 2014.
- BALDESSAR, S. M. N. **Telhado verde e sua contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada**. 2012. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia de Construção Civil. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

CALIL, V. S.; BERNARDI, E. C. S.; RIGHES, A. A. Impacto da utilização de telhados verdes no escoamento superficial do Arroio Esperança em Santa Maria – RS. **Disciplinarum Scientia**: Série: Naturais e Tecnológicas, Santa Maria, v. 15, n. 1, p.1-16, 2016.

COSTA, B. S.; COELHO, G. F.; PEREIRA, D. R. Estudo da influência do telhado verde, como material empregado em construção, sobre a temperatura. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA, Fortaleza, 2015. **Anais...** Fortaleza: CONTECC, 2015. Disponível em: <[http://www.confca.org.br/media/Civil\\_estudo\\_da\\_influencia\\_do\\_telhado\\_de\\_verde\\_como\\_material\\_empregado\\_em\\_construcao\\_sobre\\_a\\_temperatura.pdf](http://www.confca.org.br/media/Civil_estudo_da_influencia_do_telhado_de_verde_como_material_empregado_em_construcao_sobre_a_temperatura.pdf)>. Acesso em: 17 ago. 2017.

ECOTELHADO (Porto Alegre - Rs). **Mais que ideias, soluções verdes**. 2017. Disponível em: <<https://ecotelhado.com>>. Acesso em: 17 ago. 2017.

GARRIDO NETO, P. S. **Telhados verdes associados com sistema de aproveitamento de água de chuva**: elaboração de dois projetos para futuros estudos sobre esta técnica compensatória em drenagem urbana e prática sustentável na construção civil. 2012. 168 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

GOES, J. H. D. A. de; JESUS, J. B. de; CARDOSO JUNIOR, J. C. A. Mapeamento dos pontos de alagamento da cidade de Aracaju - SE. In: ENCONTRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 7. 2014, Sergipe. **Anais do ENRHSE 2014**. Aracaju: Embrapa, 2014. p. 85-88. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1001558/1/VIIenrhse.pdf>>. Acesso em: 17 ago. 2017.

INTERNATIONAL GREEN ROOF ASSOCIATION. Disponível em: <[www.igra-world.com/index.php](http://www.igra-world.com/index.php)>. Acesso em: 17 ago. 2017.

JOBIM, A. L. **Diferentes tipos de telhados verdes no controle quantitativo da água pluvial**. 2013. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

KORZENIESKI, C. do P. **Avaliação da influência do uso de telhados verdes no escoamento superficial em um loteamento de Pelotas-RS**. 2016. 61 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2016.

PEREIRA, C. F. J. G.; ALBUQUERQUE, T. M. A.; GABRIEL FILHO. Potencial de captação de águas pluviais no Instituto Federal de Sergipe – Campus Aracaju. In: VIII ENCONTRO DE RECURSOS HÍDRICOS DE SERGIPE, 8. 2015, Aracaju. **Anais...** Aracaju: EMBRAPA, 2015. p.112-116. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/140944/1/VIIENRHSE-anais.pdf>>. Acesso em: 30 maio 2016.

PEREIRA, P. G. G. et al. Análise financeira e ambiental para instalação de telhado verde no ambiente construído a partir do Projeto Casa Pet. **Cidades Verdes**, Tupã, v. 3, n. 4, p.70-84, 2015.

RANGEL, A. C. L. C.; ARANHA, K. C.; SILVA, M. C. B. C. Os telhados verdes nas políticas ambientais indutora para a sustentabilidade como medida. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 35, p. 397-409, 2015.

RIGHI, D. P. et al. Cobertura verde: um uso sustentável na construção civil. **Mix Sustentável**, Florianópolis, v. 2, n. 2, p. 29-36, 2016.

SANTANA, J. L. S. de; SANTOS, C.; LEAHY, M. A. Diagnóstico ambiental e gestão das águas urbanas no Canal Airton Teles, localizado em Aracaju no estado de Sergipe. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE GESTÃO DA ÁGUA E MONITORAMENTO AMBIENTAL, 2. 2015, Aracaju - Se. **Anais...** Aracaju:UNIT, 2015. Disponível em: <[http://www.resag.org.br/congressoresag2015/anais/img/pdfs/ID\\_77.pdf](http://www.resag.org.br/congressoresag2015/anais/img/pdfs/ID_77.pdf)>. Acesso em: 17 abr. 2016.

SERGIPE. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado de Sergipe. **Dados diários de precipitação**. 2016. Disponível em: <<http://www.semarh.se.gov.br/meteorologia>>. Acesso em: 30 maio 2016.

SUSTENTARQUI. **Vantagens e desvantagens dos telhados verdes**. 2014. Disponível em: <<https://sustentarqui.com.br/vantagens-e-desvantagens-de-um-telhado-verde/>>. Acesso em 16 abr. 2017.

VIEIRA, Z. C.; SILVA JUNIOR, C. G.; RIBEIRO, S. N. Uso de telhado verde em edificações de Aracaju para redução do escoamento superficial. In: CONGRESSO INTERNACIONAL RESAG – GESTÃO DA ÁGUA E MONITORAMENTO AMBIENTAL, 2. 2015, Aracaju, **Anais...** Disponível em: <<http://www.resag.org.br/congressoresag2015/anais>>. Acesso em: 15 abr. 2017.

## **Sobre os autores**

### **Zacarias Caetano Vieira**

Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Campina Grande (UFGC). Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe (IFS).

### **Sheilla Costa dos Santos**

Mestre em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de Brasília (UnB). Especialista em Gestão Urbana e Ambiental pela Universidade Tiradentes (UNIT). Graduada em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Tiradentes (UNIT). Professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe (IFS).

### **Givaldo Barbosa da Silva**

Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade Federal de Sergipe (UFS). Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade Federal de Sergipe (UFS). Graduado em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe (IFS).

### **Karinne Santiago Almeida Dantas**

Especialista em Design de Produtos pela Universidade do Estado da Bahia (UNEB). Graduada em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Tiradentes (UNIT). Professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe (IFS).

### **Eugênio Figueiredo de Albuquerque**

Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade Federal de Sergipe (UFS). Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB) e Graduado em Engenharia de Minas pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe (IFS).

*Recebido em: 31-05-2018*

*Avaliado em: 16.11.2018*

*Aceito em: 21.11.2018*