



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL

**SIMULAÇÃO PARA IMPLANTAÇÃO DO TELHADO VERDE E DE SISTEMA DE
APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA EM ESCOLA DO SEMIÁRIDO
NORDESTINO**

MARIA EDUARDA BARBOSA DA VEIGA

Orientador: Prof. Dr. Ricardo de Aragão

CAMPINA GRANDE – PB

2019

MARIA EDUARDA BARBOSA DA VEIGA

SIMULAÇÃO PARA IMPLANTAÇÃO DO TELHADO VERDE E DE SISTEMA DE
APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA EM ESCOLA DO SEMIÁRIDO
NORDESTINO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Campina Grande –
UFCG, para encerramento do componente
curricular e conclusão da graduação em
Engenharia Civil.

Orientador: Ricardo de Aragão

CAMPINA GRANDE – PB

2019

V426s

Veiga, Maria Eduarda Barbosa da.

Simulação para implantação do telhado verde e de sistema de aproveitamento de água de chuva em escola do semiárido nordestino / Maria Eduarda Barbosa da Veiga. – Campina Grande, 2019.

64 f. : il. color.

Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2019.

"Orientação: Prof. Dr. Ricardo de Aragão".

Referências.

1. Drenagem Urbana Sustentável. 2. Técnicas de Desenvolvimento de Baixo Impacto. 3. Simulação Hidrológica. 4. Recursos Hídricos. I. Aragão, Ricardo de. II. Título.

CDU 626.86(043)

MARIA EDUARDA BARBOSA DA VEIGA
SIMULAÇÃO PARA IMPLANTAÇÃO DO TELHADO VERDE E DE SISTEMA DE
APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA EM ESCOLA DO SEMIÁRIDO
NORDESTINO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Campina Grande –
UFCG, para encerramento do componente
curricular e conclusão da graduação em
Engenharia Civil.

Aprovado em: _____ de _____ de 2019

Nota: _____

BANCA EXAMINADORA

Nota: _____

Prof. Dr. Ricardo de Aragão
Unidade Acadêmica de Engenharia Civil
Universidade Federal de Campina Grande
(Orientador)

Nota: _____

Prof.^a. Dr.^a. Dayse Luna Barbosa
Unidade Acadêmica de Engenharia Civil
Universidade Federal de Campina Grande

Nota: _____

Prof. Dr. Igor Marques Cavalcante
Unidade Acadêmica de Engenharia Civil
Universidade Federal de Campina Grande

Dedico este trabalho a minha mãe Iolanda Barbosa por fazer o impossível por mim e pelo meu irmão, garantindo que esse sonho se tornasse real.

AGRADECIMENTOS

A Deus, autor de minha vida, verdadeiro responsável por tudo e todos. Ele que iluminou os caminhos de minha vocação e me fortalece perante as dificuldades. E a Nossa Senhora que sempre me cobriu com seu manto, me garantindo proteção e consolo;

A minha mãe, Iolanda Barbosa da Silva, por ter sido um verdadeiro exemplo de vida e superação, por sempre ter me incentivado nos meus sonhos, por todo apoio necessário em cada momento, por todas as orações direcionadas e por sempre ter feito seu máximo para garantir minha educação;

Ao meu irmão, Mateus Barbosa da Veiga, por todo amor e companheirismo, pelos consolos nas desesperanças e por tanto ter me ensinado – mesmo em sua pouca idade – ao longo dos anos;

Ao meu namorado, Matheus Aragão, pelo incentivo, amor, por me fazer acreditar em meu potencial e pela compreensão das horas dedicadas à graduação e à pesquisa;

Aos demais familiares, por todo acolhimento, conselhos e força. Aos meus amigos, que me ajudaram a me tornar quem sou, por todo carinho e atenção;

Ao professor Ricardo de Aragão que além de aceitar o convite para orientação desta monografia, esteve presente em boa parte de minha graduação. Os seus conselhos e tutoria foram indispensáveis em minha formação acadêmica; e

A UFCG, instituição pública de qualidade; na qual, estou fazendo a minha graduação em Engenharia Civil e a todos meus colegas de curso, por todo apoio diário e companheirismo.

"Podemos sempre mais que imaginamos."

Me. Agathe Verhelle

RESUMO

A explosão demográfica brasileira ocorrida após 1960 alterou a logística de composição da superfície terrestre no território, promovendo uma superação da população urbana sobre a rural. As alterações realizadas pela urbanização desconsideraram a naturalidade dos sistemas hidrológicos (do ambiente sem modificações), não apenas pelos desvios de curso de água, como também pela alteração do uso e cobertura do solo. Os processos hidrológicos foram, consideravelmente, impactados devido às edificações, pavimentações, impermeabilizações, canalizações e retificações dos cursos de água. As novas respostas hidrológicas, nas bacias urbanas, são capazes de gerar os principais desastres naturais que assolam o território brasileiro, como: estiagens, secas, inundações e enchentes. A abordagem tradicional de drenagem urbana provou-se insuficiente na contenção dos desastres, por basear-se no princípio de condução imediata das águas residuais, entrando em cena a metodologia da drenagem urbana sustentável (em inglês, SUDS), que se fundamenta na retomada da condição pré-urbanizada dos cursos d'água, racionalização do uso da água, e controle nos potenciais geradores de escoamento superficial. Neste sentido, o presente trabalho objetiva a verificação da viabilidade de aplicação de duas técnicas de SUDS, sistema de aproveitamento de água de chuva e telhado verde, para promoção da redução do escoamento superficial em uma escola de educação infantil e ensino fundamental do Complexo Habitacional Aluizio Campos em Campina Grande- PB; como também, pela análise dos benefícios do uso das técnicas para garantia plena da função social da edificação e dos custos monetários de sua aplicação. Para obtenção dos resultados foram necessárias as seguintes simulações: dimensionamento do reservatório através do método de Rippl e das simulações; verificação do amortecimento do escoamento superficial através do modelo hidrológico Storm Water Management Model (SWMM); verificação da redução da temperatura pós instalação da cobertura vegetal, pelo programa JARDIM 1.1. Conclui-se que apesar dos altos custos de implantação, a aplicação de ambas técnicas é favorável a edificação, pois reduz as temperaturas no interior da construção, diminui o volume escoado em 23%, além de haver a instalação de um reservatório capaz de suprimir em 15,7 m³ de volume de água para abastecimento mensal.

Palavras-chave: Drenagem urbana sustentável. Técnicas de desenvolvimento de baixo impacto. Simulação hidrológica. Sustentabilidade. Campina Grande.

ABSTRACT

The Brazilian demographic explosion that occurred after 1960 altered the land surface composition logistics in the territory, promoting an overcoming of the urban population over the rural one. The changes made by urbanization disregarded the naturalness of the hydrological systems (of the environment without modification), not only by the deflecting the watercourses, but also by altering the use and cover of the soil. The hydrological processes were considerably impacted due to the buildings, paving, waterproofing, plumbing and rectification of the watercourses. The new hydrological responses in urban basins are capable of generating the main natural disasters that plague the Brazilian territory, such as droughts and floods. The traditional approach to urban drainage has proved to be insufficient to contain disasters, because it is based on the principle of immediate conduction of wastewater. Otherwise the sustainable urban drainage (SUDS) methodology proved to be more efficient, because is based on the resumption of pre-urbanized condition of watercourses, rationalization of water use, and control of potential runoff generators. In this sense, the present work aims to verify the feasibility of applying two techniques of SUDS, rainwater harvesting system and green roof, to promote the reduction of runoff in a kindergarten and elementary school of the Complexo Habitacional Aluizio in Campina Grande - PB; as well as by analyzing the benefits of using the techniques to fully guarantee the social function of the building and the monetary costs of its application. To obtain the results the following simulations were necessary: reservoir sizing through the Rippl method and the simulations; verification of the runoff damping through the Storm Water Management Model (SWMM) hydrological model; verification of temperature reduction after installation of vegetation cover, using the program JARDIM 1.1. It is concluded that despite the high costs of implementation, the application of both techniques is favorable to the building, as it reduces the temperatures inside the building, decreases the flow volume by 23%, besides the installation of a reservoir capable of suppressing 15.7 m³ of water volume for monthly supply.

Keywords: Sustainable urban drainage. Low impact development techniques. Hydrological simulation. Campina Grande.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Porcentagem da população em áreas urbanas e rurais, no Brasil, ao longo dos anos.	5
Figura 2- Evolução do Déficit Habitacional Total Brasileiro- 2007-2017	6
Figura 3- Hidrograma de áreas não urbanizada e urbanizada	8
Figura 4-Proporção de municípios com instrumento regulador dos serviços de saneamento básico, por tipo de serviço, segundo as Grandes Regiões - 2008.....	9
Figura 5- Distribuição das águas superficiais por continentes, destaque para o Brasil.....	13
Figura 6- Disponibilidade hídrica superficial estimada para o País	13
Figura 7- Geografia da água no Brasil.....	14
Figura 8- Ranking da seca nos estados do Nordeste	15
Figura 9- Mesorregiões Paraibanas	16
Figura 10- Fluxograma de atividades, com suas respectivas normas, do SAAC	18
Figura 11- Sistema de Captação de Água de Chuva	18
Figura 12- Precipitação e vazão médias por região hidrográfica.	20
Figura 13- Projeção da cobertura para cálculo da área de captação	21
Figura 14- Telhado Verde aplicado em um edifício de Manhattan, Estados Unidos.....	24
Figura 15- Jardim Suspenso Babilônia.....	25
Figura 16- Camadas do telhado verde	27
Figura 17- Montagem típica de telhado verde intensivo	28
Figura 18- Montagem típica de telhado verde extensivo	29
Figura 19- Modelo da interface do Software SWMM.....	30
Figura 20- Localização Complexo Habitacional	32
Figura 21- Localização da escola do estudo no Complexo Habitacional Aluizio Campos, Campina Grande- PB	33
Figura 22- Croqui de referência de disposição dos blocos da escola	33
Figura 23- Precipitação média mensal para a série histórica de 1983 - 2017	34
Figura 24- Drenagem dentro do terreno	36
Figura 25- Área de captação de água de chuva (medidas em metros)	37
Figura 26- Indicações para cálculos de contribuição com superfície inclinada e plana vertical	38
Figura 27- Parâmetros do projeto (medidas em metros)	38
Figura 28- Modelo cisterna vertical modular, Tecnotri.....	39

Figura 29- Dimensões cisterna vertical modular, Tecnotri	39
Figura 30- Modelo do Smart Filtro.....	40
Figura 31- Cisterna de Polietileno Água de Chuva Acqualimp	40
Figura 32- Esquema de instalação Cisterna de Polietileno Água de Chuva Acqualimp	41
Figura 33- Área disponível para instalação da cisterna	41
Figura 34- Cobertura de salas de aula	42
Figura 35- Esquema telhado verde com Coroa-de-Frade	42
Figura 36- Esquema telhado verde com Babosa	43
Figura 37- Modelo inserido no SWMM	44
Figura 38- Gráfico de comparação de custos acumulados dos sistemas	53
Figura 39- Gráfico da vazão (litros por segundo) em y pelo tempo decorrido (horas) em x: Sistema A	54
Figura 40- Gráfico da vazão (litros por segundo) em y pelo tempo decorrido (horas) em x: Sistema B.....	54
Figura 41- Hidrograma: Sistema A	55
Figura 42- Hidrograma: Sistema B.....	56
Figura 43- Gráfico de Temperaturas	56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Técnicas Utilizadas Pelos SUDS.....	12
Quadro 2- Intensidade Pluviométrica para a cidade de João Pessoa/PB.....	21
Quadro 3- Coeficiente de run off médios	22
Quadro 4- Coeficiente de runoff de coberturas	26
Quadro 5- Normais climatológicas de Campina Grande- PB.....	35
Quadro 6- Método de Rippl.....	50
Quadro 7- Simulação relativa ao teste 1	51
Quadro 8- Simulação relativa ao teste 2.....	51
Quadro 9- Simulação relativa ao teste 3.....	52
Quadro 10- Valores referentes ao sistema A	44
Quadro 11- Valores referentes ao sistema B	45
Quadro 12- Valores inseridos no SWMM para caracterização das bacias do sistema.....	45
Quadro 13- Dados inseridos no programa.....	48
Quadro 14- Cálculo área de contribuição	49
Quadro 15- Cálculo volume demandado	49
Quadro 16- Vazão (litros por segundo) pelo tempo decorrido: Sistema A	54
Quadro 17- Vazão (litros por segundo) pelo tempo decorrido: Sistema B	55
Quadro 18- Vazão (litros por segundo) pelo tempo decorrido: Sistema A com Telhado Verde	55
Quadro 19- Vazão (litros por segundo) pelo tempo decorrido: Sistema B com Telhado Verde	55
Quadro 20- Custo total de montagem do telhado verde	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCMAC - Associação Brasileira de Captação e Manejo de Água de Chuva.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABRAINCC - Associação Brasileira de Incorporadoras Imobiliárias.

AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba.

ANA- Agência Nacional de Águas.

EPA - Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, em inglês U. S. Environmental Protection Agency.

ETE - Estações de tratamento de esgoto.

FNDE - Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação.

GEEDECPB - Gerência Executiva Estadual de Defesa Civil da Paraíba.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia.

LID- Técnicas de Desenvolvimento de Baixo Impacto, em inglês Low-impact development.

OMS - Organização Mundial de Saúde.

ONU - Organização das Nações Unidas.

PMCMV - Programa Minha Casa Minha Vida.

SAAC - Sistema de Aproveitamento de Água de Chuva.

SUDS - Sistemas de Drenagem Sustentável, em inglês Sustainable Drainage Systems.

SWMM - Storm Water Management Model.

WWC - Conselho Mundial da Água, em inglês World Water Council.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
2.1. OBJETIVOS GERAIS	4
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1. URBANIZAÇÃO E SEUS IMPACTOS	5
3.1.1. <i>Déficit Habitacional</i>	6
3.1.2. <i>Inundações e enchentes</i>	7
3.2. ASPECTOS PARA CONCEPÇÃO DE UM PROJETO DE DRENAGEM	9
3.2.1. <i>Legislação</i>	10
3.2.2. <i>Drenagem Sustentável</i>	10
3.3. CRISE HÍDRICA	12
3.4. SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA	16
3.4.1. <i>Componentes do Sistema de Aproveitamento de Água de Chuva</i>	18
3.4.2. <i>Dimensionamento SAAC</i>	19
3.5. TELHADO VERDE	23
3.5.1. <i>Legislação</i>	26
3.5.2. <i>Componentes</i>	26
3.5.3. <i>Tipos</i>	28
3.5.4. <i>Custos</i>	29
3.5.5. <i>Redução da temperatura</i>	29
3.6. STORM WATER MANAGEMENT MODEL (SWMM)	30
4. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	32
4.1. LOCALIZAÇÃO	32
4.2. CONDIÇÕES HIDROLÓGICAS	34
4.3. NORMAIS CLIMATÓLOGICAS	34
4.4. REDE DE DRENAGEM	35
5. MATERIAIS E MÉTODOS	37
5.1. SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA	37
5.1.1. <i>Dados pluviométricos</i>	37
5.1.2. <i>Área de Contribuição</i>	37
5.1.3. <i>Demandas</i>	38
5.1.4. <i>Reservatório</i>	38
5.1.4.1. <i>Método de Rippl</i>	49

5.1.4.2.	<i>Método das simulações</i>	50
5.1.5.	<i>Área disponível para instalação</i>	41
5.2.	TELHADO VERDE	42
5.2.1.	<i>Áreas de aplicação</i>	42
5.2.2.	<i>Vegetação Utilizada</i>	42
5.2.3.	STORM WATER MANAGEMENT MODEL (SWMM)	43
5.2.4.	JARDIM 1.1.	47
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
6.1.	SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA	49
6.1.1.	<i>Área de contribuição</i>	49
6.1.2.	<i>Cálculo da demanda</i>	49
6.1.3.	<i>Coeficiente de Runoff</i>	49
6.1.4.	<i>Dimensionamento Reservatório</i>	49
6.1.4.1.	<i>Avaliação socioeconômica</i>	53
6.2.	TELHADO VERDE	54
6.2.1.	<i>Redução do volume escoado</i>	54
6.2.2.	<i>Redução da temperatura</i>	56
6.2.3.	<i>Avaliação econômica</i>	57
REFERÊNCIAS		60

1. INTRODUÇÃO

Os impactos ambientais causados pelo ser humano ao longo do processo de ocupação do espaço são inegáveis, sobretudo quando são avaliados pela perspectiva de impermeabilização do solo. A ocupação desordenada da superfície, advinda do rápido crescimento populacional e falta de planejamento urbano, com falta de investimentos em infraestrutura hídrica resultou na retirada da vegetação nativa e consequente impermeabilização (por pavimentação e calçamento) das áreas das bacias hidrográficas urbanas. Além disso os cursos d'água foram retificados, alterando a dinâmica hídrica natural, criando respostas hidrológicas capazes de gerar desastres naturais, conforme os citados pela Agência Nacional de Águas (ANA):

Estiagens, secas, enxurradas e inundações representam cerca de 84% dos desastres naturais ocorridos no Brasil de 1991 a 2012. Nesse período, quase 39 mil desastres naturais registrados afetaram cerca de 127 milhões de pessoas (ANA, 2017).

As inundações e enchentes urbanas são consequências diretas das modificações do uso do solo e para mitigar seus efeitos são necessários projetos de sistema de drenagem, que devem ser apropriados em conformidade com as características das bacias. A abordagem tradicional de drenagem urbana, conhecida como higienista, possuía como propósito a condução, o mais rápido possível, da água que escoava nos centros; contudo, ela não efetivava o correto manejo e a destinação adequada do resíduo, tornando-se um método insustentável. Dessa forma, derivou-se dos conhecimentos tecnológicos vigentes, considerando as especificidades da bacia e os objetivos a serem alcançados, o desenvolvimento de outras abordagens para os projetos, as quais são complementadas com medidas de engenharia que visam a recuperação do fluxo natural registrado antes da urbanização.

As medidas de engenharia são utilizadas em projetos de drenagem urbana sustentável, e entre elas as mais utilizadas são: os reservatórios, as áreas de infiltração, jardins de chuva, telhados verdes, pavimentos permeáveis, tanques de retenção e retenção (FERRAZ; CECCATTO, 2015). Entretanto, faz-se necessário o estudo de suas aplicações; como também, sua viabilidade técnica e econômica. De forma equivalente à análise da combinação destas medidas, também devem ser viabilizados estudos que verifiquem a possível otimização da mitigação do dano a partir destas combinações.

Das medidas sustentáveis citadas, os telhados verdes são definidos como “toda cobertura impermeabilizada, que possui em sua composição uma camada de solo ou substrato e

vegetação”, conforme (INGRA, 2010). Essa alternativa proporciona uma redução nas enchentes e inundações, dependendo da metodologia de sua implantação, permitindo uma redução de 50% a 90% nos volumes escoados (INGRA, 2010); também podendo ser aplicada, em decorrência da possibilidade de atenuação das ilhas de calor, nas zonas de elevada temperatura promovidas pela incidência dos raios no concreto e asfalto. Isso, propicia um maior conforto térmico ao ambiente, uma vez que as coberturas verdes passam a funcionar como um isolante térmico.

A ação antrópica na ocupação superficial acarretou outro problema, a escassez de água que é diretamente associada a má utilização e gestão dos recursos hídricos. Esse desequilíbrio se deve ao consumo exacerbado, desenvolvimento econômico sem sustentabilidade e o acréscimo na demanda de recursos. Uma das estratégias para lenificar esta situação é o aproveitamento de água de chuvas que além de promover uma redução na captação de água, da fonte de abastecimento convencional, também pode ser utilizado como uma medida de controle de inundações. A NBR 15527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007) trata do destino do recurso para atividades de fins não potáveis, como: irrigação de gramados, limpeza de calçadas, ruas, pátios e outros afins.

Do mesmo modo, o estabelecimento das moradias precárias se classifica como outra carência decorrente da urbanização, tendo seus reflexos na atualidade identificados nos déficits habitacionais. Esses recaem de forma mais incisiva sobre a população de baixa renda, decorrente da desigualdade social, políticas habitacionais excludentes, falta de emprego, má distribuição de renda, entre outros (ALMEIDA; SILVA; SOUZA, 2018). Na tentativa de sanar este déficit habitacional, o Governo Federal em regime de colaboração com Estados e Municípios criou o Programa “Minha Casa Minha Vida” (PMCMV), tendo como um dos seus empreendimentos o Complexo Habitacional Aluízio Campos¹, localizado na cidade de Campina Grande- PB. O complexo foi entregue, em novembro de 2019, com todos os equipamentos sociais; porém, para fins deste estudo, destaca-se as três escolas de educação infantil (creches) e as duas escolas de educação infantil e ensino fundamental com quadra, como

¹ O projeto do Complexo habitacional foi aprovado na gestão da Presidente Dilma Roussef, em 2014, e as obras foram iniciadas na gestão do Prefeito Romero Rodrigues, no mesmo ano. A contrapartida do município e a liberação dos recursos da União, cumprindo os cronogramas da obra, via Banco do Brasil que acompanhou a execução da elaboração e entrega do projeto com 4100 unidades habitacionais, apesar do Complexo levar aproximadamente 5 anos para ser concluído e entregue. As unidades educacionais do complexo seguiram o projeto padrão do FNDE (Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação) para o Proinfância (Financiamento para construção de Escolas de Educação Infantil (Creches) e Escolas Regulares, nas quais pode funcionar a oferta de Educação Infantil (Pré-escola – 4 e 5 anos) e Ensino Fundamental (Anos Iniciais e Anos Finais – 6 a 14 anos).

campo de pesquisa. Na delimitação do campo de pesquisa, deste trabalho, tomou-se para estudo uma escola de educação infantil e ensino fundamental com quadra.

Construídas com telhados de grandes vãos, as escolas deste complexo interceptam elevados volumes de águas pluviais, passíveis de aproveitamento, além de proporcionarem uma baixa troca de calor com o exterior, bloqueando o ar quente no interior do edifício. Na tentativa de minimizar os efeitos negativos gerados pelo escoamento superficial, melhorias na climatização nas salas de aula e aproveitamento das águas pluviais para limpeza de pátios, salas, áreas comuns, em jardins e outros espaços justifica-se a realização desta pesquisa.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar a viabilidade técnica socioeconômica de implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva e de telhado verde em uma edificação pública – escola de educação infantil e ensino fundamental localizada no Complexo Habitacional Aluizio Campos, de Campina Grande-PB.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Dimensionar o reservatório de água de chuva de modo a atender a lavagem de piso das áreas de uso comum e jardinagem;
- ✓ Calcular a contribuição da edificação para o sistema de esgotamento pluvial em sua condição natural, sem modificações de técnicas de drenagem sustentável, para cada situação;
- ✓ Comparar os resultados obtidos através dos cálculos prévios com os resultantes pós aplicação dos métodos, individualmente, através de modelos computacionais;
- ✓ Avaliar a redução de temperatura no interior da edificação após a instalação do telhado verde;
- ✓ Avaliar o custo de implantação de cada técnica, de forma a determinar os investimentos necessitados, custo benefício e possíveis retornos financeiros;

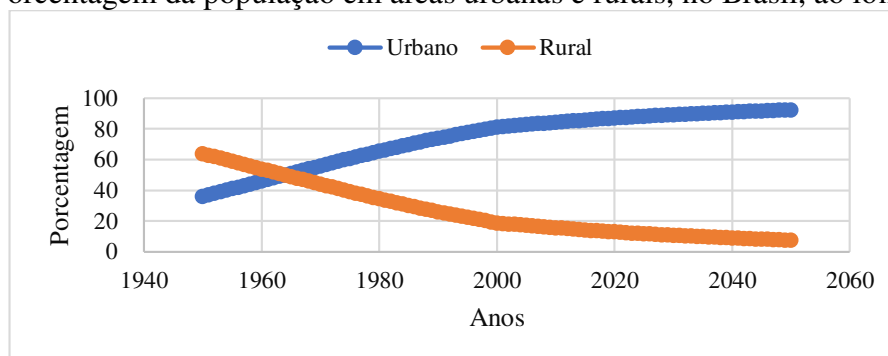
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. URBANIZAÇÃO E SEUS IMPACTOS

A urbanização atinge o globo de forma crescente como explicita Santos (2008). Oriunda dos fenômenos de migração rural e crescimento populacional nas áreas já urbanizadas, o processo se fundamenta com a instituição do capitalismo, a industrialização e a modernização da sociedade. A Divisão das Nações Unidas para População do Departamento dos Assuntos Econômicos e Sociais (DESA), em sua revisão de 2018 do relatório “Perspectivas da Urbanização Mundial” (World Urbanization Prospects), explicita que cerca de 54% da população mundial habita nos perímetros urbanos e as projeções para 2050 são de um percentual de 68% segundo a Organização das Nações Unidas (ONU) em 2018.

O processo de urbanização brasileiro é caracterizado como recente, como ocorreu nos demais países da América Latina e em países em vias de desenvolvimento. Ele teve sua grande explosão a partir da segunda metade do século XX, depois da década de 60. O relatório da DESA (ONU, 2018) também comprova essa aceleração, que pode ser observada na Figura 1. Em 1950 o Brasil tinha 36,2% da sua população urbana, saltando para 86,6% de urbanização em 2018. Esse crescimento acelerado da população urbana é percebido somente no Censo de 1970, muito embora o fato tenha ocorrido em 1964 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE, 2010a). Desse modo, em aproximadamente 70 anos, os assentamentos urbanos se adaptaram para abrigar um contingente de 163 milhões de pessoas (ONU, 2018), outrossim atender suas demandas sociais de moradia, trabalho, educação, água e luz.

Figura 1- Porcentagem da população em áreas urbanas e rurais, no Brasil, ao longo dos anos



Fonte: Adaptado de DESA

Contudo, somente na Constituição de 1988 se estabeleceu um instrumento básico para a gestão urbana no Brasil - o Plano Diretor; abrangendo o espaço como uma construção social

para além da lógica técnica de execução. De fato, a temática do planejamento urbano não foi abordada até a explosão de problemas nos grandes centros com o surgimento de habitações precárias (decorrentes da exclusão social e segregação social) e falhas na infraestrutura das cidades, sobretudo nos sistemas de serviços; mas também, no aparelhamento urbano relativo aos recursos hídricos: abastecimento de água, transporte e tratamento de esgotos e drenagem de águas pluviais (PRIETO; MENEZES; CALEGARI, 2017).

Conforme Maricato (2001):

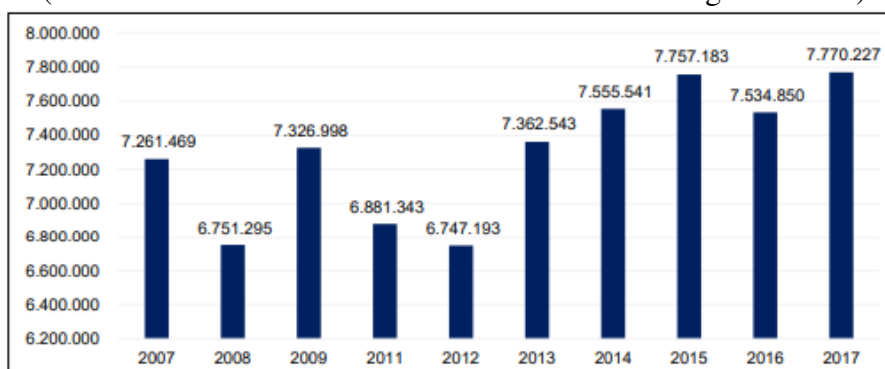
Realizavam-se obras de saneamento básico para a eliminação das epidemias, ao mesmo tempo em que se promovia o embelezamento paisagístico e eram implantadas as bases legais para um mercado imobiliário de corte capitalista. A população excluída desse processo era expulsa para os morros e franjas da cidade. (MARICATO, 2001, p. 17).

3.1.1. Déficit Habitacional

As habitações precárias, surgidas nas primeiras etapas do processo de urbanização no Brasil, refletem um fenômeno de desenvolvimento urbano embasado numa ocupação desigual, no acesso ao espaço e as moradias, e isso é percebido na atualidade dos déficits habitacionais. As cidades brasileiras surgiram por meio dos efeitos das altas taxas de crescimento demográfico e do fenômeno do êxodo rural no período da grande revolução, que as transformou em centros de atividade industrial. As moradias alternativas e precárias tornaram-se mais constantes por serem a única opção da população de baixa renda.

A Fundação Getúlio Vargas (FGV) elaborou um estudo que estimou o déficit habitacional de 2017, em 7,7 milhões de unidades. Ele pode ser demonstrado na Figura 2 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INCORPORADORAS IMOBILIÁRIAS - ABRAINC, 2018).

Figura 2- Evolução do Déficit Habitacional Total Brasileiro- 2007-2017
(Número de unidades em déficit habitacional ao longo dos anos)



Fonte: Fundação Getúlio Vargas

Os dados enfatizam a carência habitacional no Brasil, como também a necessidade de políticas públicas focadas na mitigação da desconformidade e promoção de moradias em boas condições para as populações de baixa renda. Destaca-se o descrito por Martins (2007) sobre o direito social do acesso à moradia:

Portanto o acesso à moradia além de ser uma necessidade é também um direito de todo o cidadão, no entanto, a aquisição de uma moradia para a classe de menor poder aquisitivo está relacionada uma série de dificuldades, entre as quais a desigualdade social, políticas habitacionais excludentes, falta de emprego, má distribuição de renda, entre outros (MARTINS, 2007).

Todavia, mesmo com o direito à moradia constitucionalizado (Constituição 1988), o Brasil percorreu longos anos sem intervenções governamentais sobre a questão, em decorrência do fechamento do Sistema Financeiro da Habitação (SFH) e do Banco Nacional da Habitação (BNH). Segundo Rodrigues e Moreira (2016), apenas nos anos 2000 o governo retoma suas ações; a partir da criação do Ministério das Cidades (em 2003), com o estabelecimento da Política Nacional de Habitação, em 2004, e do Plano Nacional de Habitação, em 2007. A Política Nacional de Habitação promulgou importantes iniciativas no enfrentamento ao déficit habitacional, destacando-se o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), no ano de 2009, como uma medida combativa aos efeitos da grande crise econômica mundial, iniciada nos Estados Unidos no ano anterior, tendo afetado o setor imobiliário e da construção civil (Cardoso e Aragão, 2011).

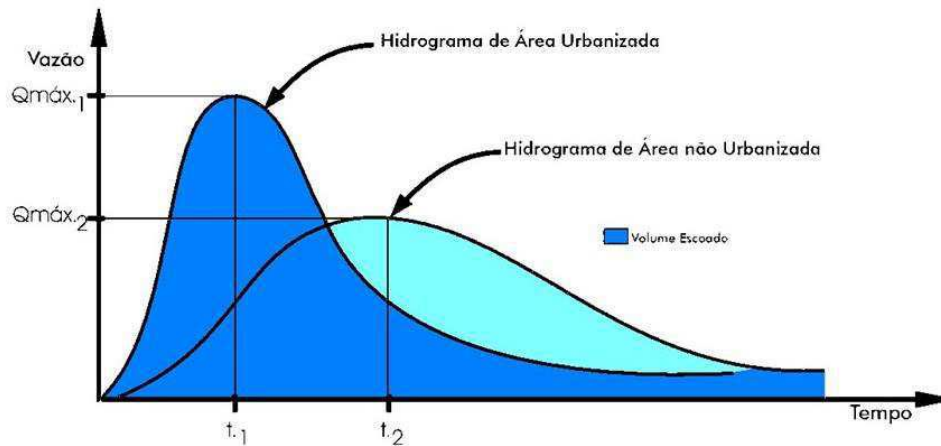
Carvalho e Stephan (2016) recordam a meta inicial, do PMCMV, de construção de 1 milhão de moradias na área urbana. Na segunda versão do Programa, pela Lei n. 12.1214/2011, essa meta foi duplicada. No estado da Paraíba até 2015, cerca de 90% dos municípios haviam sido contemplados com esses projetos habitacionais. Assim, mais de 300 mil famílias foram beneficiadas, impulsionando a construção de equipamentos comunitários (escolas, creches, berçários e outros equipamentos sociais); além da urbanização de comunidades, entre outras ações, segundo informações da Companhia Estadual de Habitação Popular (CEHP).

3.1.2. Inundações e enchentes

Um dos impactos ambientais da expansão urbana é a retirada da vegetação nativa para construção de moradias e atividades agropecuárias. Em paralelo ao desmatamento foi realizada a impermeabilização do solo, através do asfaltamento, calçamento de ruas e calçadas, cimentação de quintais e jardins, da própria construção e dos telhados. Em decorrência dessa ação, a parcela de água que infiltraria será convertida em escoamento superficial direto. O

montante que percolava lentamente pela superfície do solo, agora escoava pelas bacias retificadas, exigindo maior capacidade de escoamento das seções (TUCCI, 2008). Atingindo-se assim, nas condições modificadas, maiores picos de vazões (na dimensão de até 6 vezes), em menos tempo, em comparação com os naturais, conforme ilustrado na Figura 3. Desse modo, são geradas as enchentes, alagamentos e inundações em áreas urbanas.

Figura 3- Hidrograma de áreas não urbanizada e urbanizada



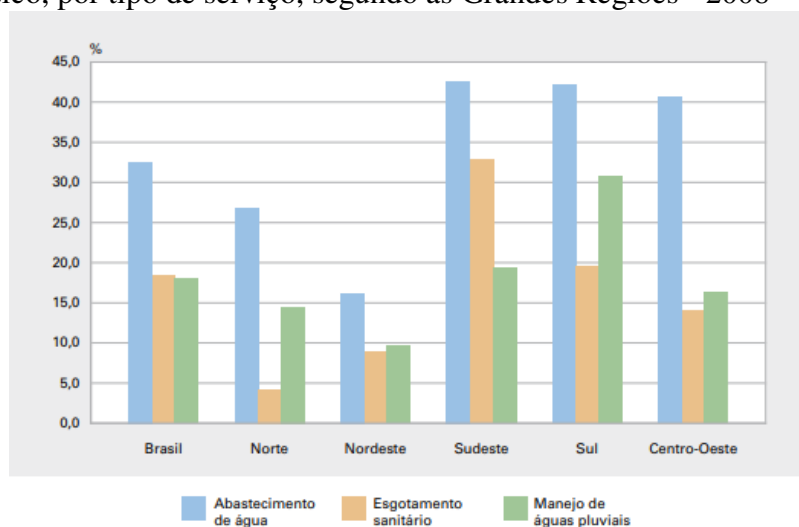
Fonte: Virgilli (2006)

Segundo Tucci (2008), os registros históricos das inundações são tão antigos quanto o desenvolvimento do conglomerado urbano, sobretudo em função do estabelecimento da malha urbana ao longo dos leitos dos rios. Em áreas ocupadas por atividades humanas a presença da água empoadada é incompatível, uma vez que promovem perdas sociais e econômicas, tais como: avarias as áreas edificadas, danos à estrutura, depreciação do meio, propagação de doenças de veiculação hídrica e pauperização populacional por meio das perdas de imóveis e bens, como explicitado por Miguez, Rezende e Veról (2015).

Ainda sobre a ocupação urbana, Tucci (2004) afirma que os municípios têm o controle único das áreas de médio e alto valor econômico, a denominada cidade formal, onde se efetivam o controle da utilização do solo. Contudo, mesmo nestes ambientes de controle é apenas considerado a área edificada e o tráfego no planejamento, ignorando os impactos na infraestrutura de água que tem acarretado os seguintes efeitos: falta de tratamento de esgoto, ocupação do leito de inundação ribeirinha, impermeabilização e canalização dos rios urbanos e aumento da carga de resíduos sólidos e a redução da qualidade da água. Assim ocorrem prejuízos diretos sobre o saneamento básico, sobretudo das áreas mais pobres, como pode ser

demonstrado na Figura 4, já que não são o foco do planejamento urbano e não possuem instrumentos regulamentadores.

Figura 4-Proporção de municípios com instrumento regulador dos serviços de saneamento básico, por tipo de serviço, segundo as Grandes Regiões - 2008



Fonte: Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008.

A maior parte dos municípios não possuem tratamento de esgoto adequado e lançam os efluentes na rede de esgotamento pluvial, como também as águas de chuvas são descarregadas nos esgotos. O despejo inadequado promove o encaminhamento do material à rios e lagos, refluxo do esgoto em vias públicas e estabelecimentos, além de danificar o sistema de abastecimento do esgoto e interferir nas estações de tratamento de esgoto (ETE).

3.2. ASPECTOS PARA CONCEPÇÃO DE UM PROJETO DE DRENAGEM

Analisando o problema das inundações e enchentes, avalia-se que as condutas iniciais nas concepções dos projetos de drenagem são avaliadas como medidas desesperadas e ineficazes. Essas são atualmente denominadas de abordagem tradicional do projeto de drenagem urbana por conceberem o escoamento da água precipitada o mais rapidamente possível, acrescentando o montante acumulado na jusante, gerando o aumento em várias ordens da magnitude a vazão máxima, a frequência e o nível de inundação.

Além do que, como já supracitado, não havia preocupação com o planejamento urbano e ocorreu a ocupação das áreas ribeirinhas, reduzindo a capacidade de escoamento da área e resultando prejuízos evidentes quando o rio inunda seu leito maior (PORTO ALEGRE, 2004). Entretanto a abordagem convencional ainda é plenamente difundida em âmbito nacional, o que

pode ser exemplificado com a prática recorrente do uso da canalização para drenagem, uma solução bastante onerosa (TUCCI, 2005).

3.2.1. *Legislação*

Especificamente, avaliando a questão sobre a ótica do direito, sabe-se que os primeiros passos no planejamento urbano surgiram com o advento da Constituição Federal de 1988, que institucionalizava, responsabilizando os entes federados, o desenvolvimento das funções sociais da cidade com o intuito de estabelecer o bem-estar da população. Posteriormente foi regulamentada através do Estatuto das Cidades e da Lei de Saneamento nº 11.445/2007 (CARMO; MARCHI, 2013).

Mesmo com este histórico, a gestão da drenagem não é aplicada à maioria dos municípios brasileiros, dada a ausência de um planejamento específico para o setor. Fato evidenciado nos dados retirados da pesquisa do IBGE (2010b), esses apontam que das 99,7% cidades brasileiras que prestam diretamente os serviços de drenagem urbana, em apenas 2% dessas a prestação é feita por entidades que pertencem à esfera municipal. Uma das regiões que apresentam uma elevada disparidade neste quesito é o Nordeste, uma vez que 82% dos municípios não possui legislação específica que exige aprovação e implantação de sistema de drenagem e os que possuem nenhum deles tem os serviços executados pela prefeitura.

No todo, Tucci (2002) define que o início do Plano Diretor de Drenagem Urbana – PDDU, se dá com a política das águas pluviais, contemplando manuais de drenagem, planos de ação, manuais de drenagem e deverá possuir programas de monitoramento entre outras ações preventivas. A Lei de Saneamento Básico (11.445/2007) complementa a necessidade da participação da sociedade na elaboração, com a perspectiva de garantir a universalização dos serviços, por meio do prévio diagnóstico e prognóstico das condições do município (CARMO; MARCHI, 2013). Tucci (1997) ainda defende o objetivo do PDDU, como sendo: “planejar a distribuição da água no tempo e no espaço, controlar a ocupações das áreas de riscos de inundações e convivência com enchentes em áreas de baixo risco”.

3.2.2. *Drenagem Sustentável*

Considerável parcela dos engenheiros atuais está desatualizada no tocante a tendência ambientalista na gestão da água. Os engenheiros, ainda, almejam soluções estruturais, que alteram o ambiente, com excesso de áreas impermeáveis, aumento de temperatura, inundações

e poluição. Para tal, surge a necessidade de promover uma conformidade da engenharia com os conceitos da sustentabilidade.

Enquanto isso nos estudos dos sistemas de drenagem, esta associação é denominada de sistemas de drenagem sustentável – Sustainable Drainage Systems – SUDS. Os SUDS apresentam uma estrutura científica abrangente na sustentabilidade, que quer dizer, que “todos os custos ambientais, conjuntamente aos fatores econômicos e sociais, devem ser considerados nos processos de tomada de decisões” (WOODS-BALLARD et al., 2007, p. 3- 15). No que diz respeito à tendência ambientalista aplicada na SUDS, através do disposto no seu manual, é possível citar como frentes de ação:

- Racionalização do uso da água;
- Redução do seu consumo;
- Tratamento de efluentes dos sistemas sanitários, abastecimento de água e manejo de águas pluviais;
- Retomada da condição natural dos cursos d’água degradados;
- Controle nos potenciais geradores de escoamento superficial;

As técnicas de desenvolvimento de baixo impacto (em inglês, LID) são práticas projetadas para capturar e reter águas pluviais geradas a partir de superfícies impermeáveis que, de outra forma, seriam convertidos em escoamento superficial. O Manual dos SUDS (WOODS-BALLARD et al., 2007) elucida quais as técnicas recomendáveis para a restauração dos processos naturais requeridos (Quadro 1); além disso, também é necessário a investigação da combinação das intervenções, para avaliar a eficácia desses conjuntos em termos da mitigação dos danos.

Quadro 1- Técnicas Utilizadas Pelos SUDS

Infiltração	Faixas de infiltração (<i>filter strips</i>)
	Poço de infiltração (<i>soakaway / dry well</i>)
	Trincheira preenchida com pedras (<i>trench</i>)
	Pavimentos permeáveis (<i>pervious pavements</i>)
	Sistemas geocelular / modular (<i>geocellular/modular systems</i>)
	Filtros de areia (<i>sand filters</i>)
	Bacia de infiltração (<i>infiltration basin</i>)
	Biorretenção (<i>bioretention / stormwater bump-out</i>)
	Jardim de chuva (<i>rain garden</i>)
Detenção / Atenuação	Telhado verde (<i>green roof</i>)
	Tonel de água (<i>water butts</i>)
	Aproveitamento de águas pluviais (<i>rainwater harvesting</i>)
	Depressões (<i>swales</i>)
	Sistema geocelular / modular (<i>geocellular/modular systems</i>)
	Filtros de areia (<i>sand filters</i>)
	Bacia de infiltração (<i>infiltration basin</i>)
	Bacia de detenção (<i>detention basin</i>)
	Lago ou Tanque (<i>pond</i>)
	Pântano de águas pluviais (<i>stormwater wetlands</i>)
Praça ou Cruzamento afundado (<i>sunken square</i>)	
Transporte	Trincheira preenchida com pedras (<i>trench</i>)
	Depressões (<i>swales</i>)
	Pavimentos permeáveis (<i>pervious pavements</i>)

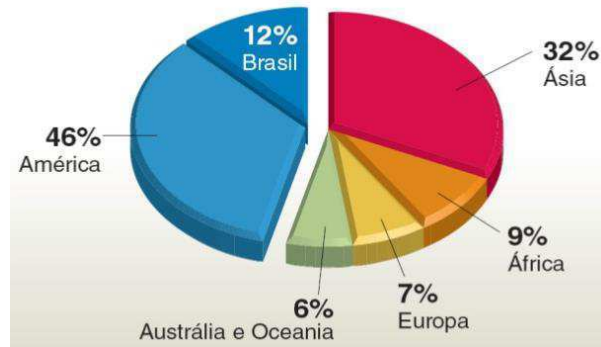
Fonte: Woods-Ballard Et Al., 2007 E Digman Et Al., 2012

3.3.CRISE HÍDRICA

A crise hídrica, como desastre ambiental, foi tratada no Conselho Mundial da Água (World Water Council, WWC), no Fórum Global Da Nexus Sobre Alimentos e Energia Da Água, comprovando que há quase 2,1 bilhões de pessoas não têm água potável em casa e mais do dobro não dispõem de saneamento seguro no mundo e que a demanda global por água aumentará em 55% até 2050. Para tanto, avalia-se as necessidades da disponibilidade, acessibilidade, distribuição e sustentabilidade da água; sobretudo pelo comprometimento com o maior bem-estar humano.

Outra análise, nesse contexto, foi feita através de um relatório da Organização Mundial de Saúde (OMS) e do Programa de Monitoramento Conjunto (JMP, na sigla em inglês) que demonstram uma disparidade entre o consumo de água nos países ricos e relação aos países pobres. Enquanto o consumo nesses primeiros chega a cerca de 425 litros de água por habitante/dia, nos países pobres identifica-se um consumo, médio, de 10 litros. Entretanto, a distribuição de água no globo e em muitos continentes não equivale com a premissa elucidada acima, como é o caso do Brasil, ilustrado na Figura 5.

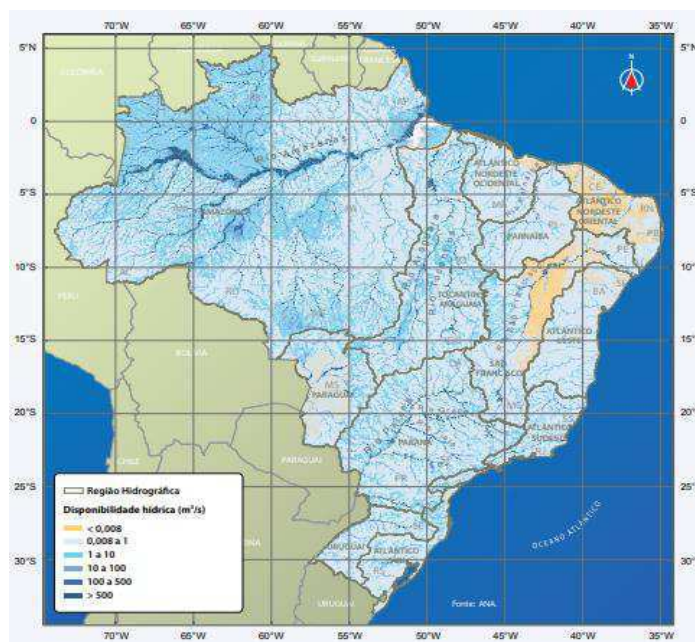
Figura 5- Distribuição das águas superficiais por continentes, destaque para o Brasil



Fonte: Agência Nacional de Águas (2012)

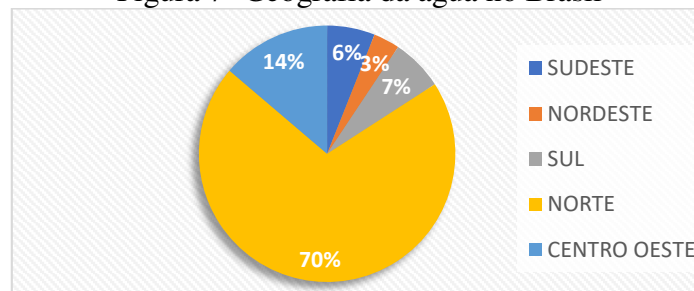
De fato, o Brasil apresenta-se como um potencial hídrico. Os dados do Instituto Trata Brasil, informam que o consumo médio brasileiro é de 166,3 litros por habitante/dia, valor maior do que o recomendado de 110 litros por habitante/dia, tornando-se a escassez hídrica um fenômeno inaceitável no país. O principal fator motivante desta falha é a desigualdade territorial na distribuição do recurso, correlacionado a densidade demográfica. Enquanto a região Amazônica concentra cerca de 81% da água superficial do país e possui apenas 5% da população, 51% dos brasileiros são atendidos com o equivalente a 5% da água restante. A “geografia da água” foi estabelecida por Olic (2003), ilustrada pela Figura 6, já disponibilidade ao longo do território é demonstrada através da Figura 7.

Figura 6- Disponibilidade hídrica superficial estimada para o País



Fonte: Agência Nacional de Águas (2012)

Figura 7- Geografia da água no Brasil



Fonte: Adaptado Olic (2003)

Corroborando com essa desproporção na distribuição, o relatório da Conjuntura dos Recursos Hídricos, da ANA, destaca o Nordeste como a região brasileira que mais demanda atenção na ineficiência de oferta de água, destacando-se o Nordeste Setentrional (Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco), com 87,8 % do seu território no Semiárido. O relatório também destaca os fatores naturais que contribuem para à redução da disponibilidade hídrica, tais como: baixos índices e irregularidade da precipitação, altas temperaturas com baixas amplitudes, durante todo ano; muito embora, como exposto por Rebouças (1997), afirmar que só o determinismo hidrogeológico serve de justificativa é reduzir a responsabilidade do poder público:

[...] As condições físico-climáticas que predominam na Região Nordeste do Brasil podem, relativamente, dificultar a vida, exigir mais empenho e maior racionalidade na gestão dos recursos naturais em geral e da água em particular, mas não podem ser responsabilizadas pelo quadro de pobreza amplamente manipulado e sofridamente tolerado. Destarte, o que mais falta no Semiárido do Nordeste brasileiro não é água, mas determinado padrão cultural que agregue confiança e melhore a eficiência das organizações públicas envolvidas no negócio da água (REBOUÇAS, 1997, p. 127-128).

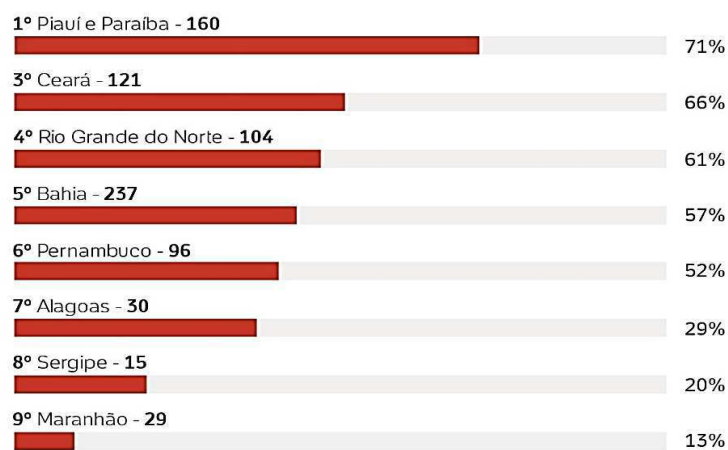
No âmbito legislativo, em 1997, foi sancionada a Lei Nº 9.433, também intitulada de lei das Águas, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. A lei define a água como um domínio público e um recurso natural limitado, como também estabelece o uso prioritário (consumo humano e dessedentação de animais) em situações de escassez, criando parâmetros para gestão e garantindo sua ação de forma descentralizada com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades nos processos decisórios.

A definição do uso prioritário foi fundamental para instruir as diretrizes da 5ª reunião do Observatório da Escassez Hídrica no Semiárido, organizada pela ANA em 2018, da qual participaram representantes do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) e do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS). Pelo

Observatório foi constatado que na região ainda permeia a situação de escassez hídrica acentuada, o que se apresenta como um dado trágico, tendo em vista que desde a promulgação da Lei Nº 175 de 1936, que delimitou a Região Nordeste, já se desenvolvia uma ação combativa aos efeitos dos períodos de estiagem (SUDENE, 2012).

Entretanto nem a própria macrorregião apresenta resultados semelhantes em toda sua totalidade, sobretudo na gestão. Conforme os resultados de uma pesquisa do IBGE (2017) no período de 2013 a 2016, apenas 15,7% dos municípios possuíam um plano específico de contingência e/ou prevenção à seca, enquanto que os demais buscaram minimizar os danos através de ações emergenciais. As ações mais aplicadas, foram: distribuição regular de água, através de caminhões-pipa, utilizada em 65,5% dos municípios, a construção de poços (61%) e de cisternas (49%). Até 2018, no momento de realização da pesquisa do Laboratório de Análise e Processamento de Imagens de Satélites (Lapis), o ranking dos estados que possuíam mais municípios afetados pelo evento climático, pode ser ilustrado na Figura 8 (UMA RADIOGRAFIA..., 2018), que representa a recorrência do fenômeno nos estados.

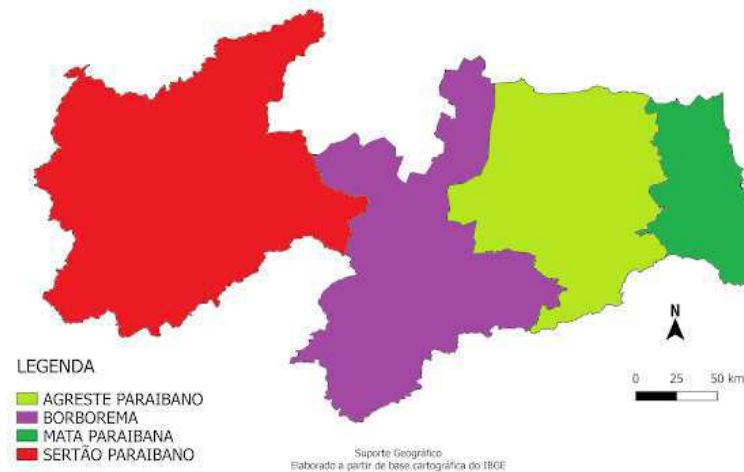
Figura 8- Ranking da seca nos estados do Nordeste



Fonte: Lapis (2018)

No topo do ranking está o estado da Paraíba, com 97,78% de sua área total inserida no Polígono das Secas (FRANCISCO, 2010). A delimitação de tais áreas, sujeitas aos impactos da estiagem de forma prolongada, foi estabelecida inicialmente através da Lei Nº 1348/1951, que estabelece os critérios e os limites. Outra demarcação, essencial para o desenvolvimento de planos de ação de mitigação dos impactos da seca, foi feita por Moreira (1989) ao definir a Região Semiárida do Estado da Paraíba a partir das suas mesorregiões: Agreste Paraibano, Borborema, Mata Paraibana e Sertão Paraibano, demonstradas na Figura 9.

Figura 9- Mesorregiões Paraibanas



Fonte: IBGE (2017)

A estiagem aflige diretamente a atividade agrícola e o consumo, retirando grande parte do sustento das famílias no Estado e afetando, assim, todos os setores da economia (MEDEIROS; BRITO, 2017). Além disso, seus prejuízos alcançam, cada vez mais, um maior contingente populacional, ao longo dos anos. Segundo dados fornecidos pela Gerência Executiva Estadual de Defesa Civil da Paraíba (GEEDECPB, 2016), o número de pessoas atingidas pelo fenômeno da seca, duplicou nos últimos quatro anos.

3.4. SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA

Atrelado ao aumento populacional está o aumento da demanda por água e esgoto, provocando a insuficiência e degradação dos mananciais superficiais e subterrâneos. Não obstante os modelos de saneamento vigentes se estabeleceram pelo uso perdulário dos recursos água e energia, promovendo uma escassez de água com poluição dos recursos hídricos (COHIM e KIPERSTOCK, 2008). Os autores exploraram a captação de águas pluviais nas edificações como uma fonte alternativa de redução da demanda dos sistemas públicos de abastecimento; mas também, como uma possibilidade de mitigar os efeitos negativos da falta de manejo das águas pluviais (inundações e enchentes).

Cohim e Kiperstok (2008) afirmaram que para realização do Sistema de Aproveitamento de Água de Chuva (SAAC) são necessários: estudos acerca da viabilidade técnica-econômica e eficiência no atendimento; parecer dos riscos sanitários possíveis; compatibilização com as instalações hidráulicas da edificação; avaliação dos possíveis riscos sanitários; adequação das instalações hidráulicas prediais; dimensionamento da captação; coleta e armazenamento, adequando-se as características locais e garantindo a efetivação de projetos adequados.

Conforme Tomaz (2010), a principal superfície de captação é o próprio telhado, apresentando uma vantagem pelo fato de já está pronto. Outra superfície passível a captação é o próprio solo impermeabilizado, por meio de peças hidráulicas tais como os ralos. O autor (op.cit) também estima uma economia de 30% (trinta por cento) da água pública quando se utiliza água de chuva; outra hipótese, que referenda o uso da água de chuva foi apresentada pelo International Environmental Technology Centre (IETC) das Nações Unidas, onde afirma-se que no ano de 2010 a população da Alemanha iria utilizar entre 42% e 45% de água de chuva.

No aspecto histórico, os primeiros registros de aplicação do aproveitamento de água de chuva foram registrados no deserto de Nígev, no qual essa técnica é usada há mais de quatro mil anos e no oriente médio onde o aproveitamento era direcionado para o consumo humano. Países como a China e a Índia possuem registros de tanques e cacimbas para o armazenamento; bem como, escritos antigos que relatam o uso do sistema por vários povos: Incas, Aztecas e Mayas. Segundo a Associação Brasileira de Captação e Manejo de Água de Chuva (ABCMAC), no Brasil, as instalações mais antigas encontram-se em Fernando de Noronha, datadas de 1943, e foram construídas pelos Norte-americanos.

Contudo, a ABCMAC afirma que a aplicação do sistema era escasso até a realização de experiências com cisternas para água pluvial e barragens subterrâneas no Semiárido Brasileiro, no final dos anos 70. Já no começo dos anos 90, o Instituto Regional da Pequena Agropecuária Apropriada (IRPAA) junto com as demais organizações não-governamentais, começaram a construir cisternas e durante a execução observaram a necessidade da implementação de programas educacionais de incentivo a convivência com o clima semiárido e manejo adequado da água, respeitando as dinâmicas sócio-cultural. Nos anos seguintes, a Embrapa e o IRPAA organizaram vários Simpósios Brasileiros de Captação de Água de Chuva.

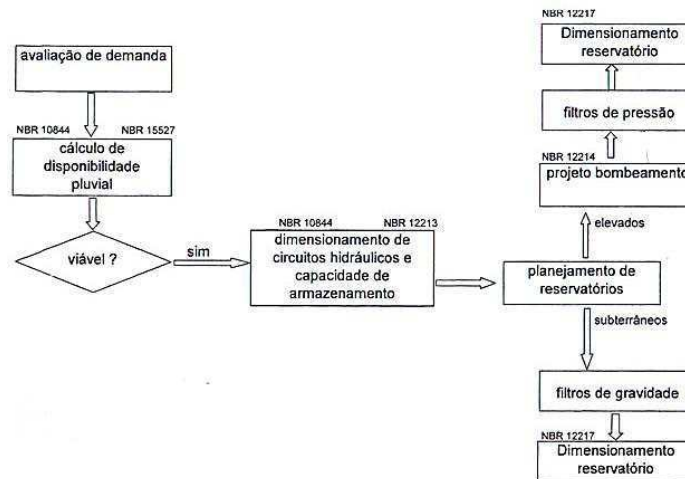
No oitavo simpósio foi ressaltado que o planejamento e uso dos SAAC devem estar em conformidade com o plano integrado de gestão de recursos hídricos e uso do solo. Como também se enfatizou a necessidade de composição de estudos sobre:

- a) Integração do SAAC em bacias hidrográficas urbanas;
- b) Recuperação e preservação ambiental;
- c) Avaliação dos programas governamentais de captação de água de chuva; e
- d) Qualidade armazenada nas cisternas;

3.4.1. Componentes do Sistema de Aproveitamento de Água de Chuva

Para compreender o que está implícito no SAAC é necessário avaliar o seu funcionamento e as necessidades nas instalações de seus componentes, o fluxograma e as normas que regem essas especificações estão ilustradas na Figura 10.

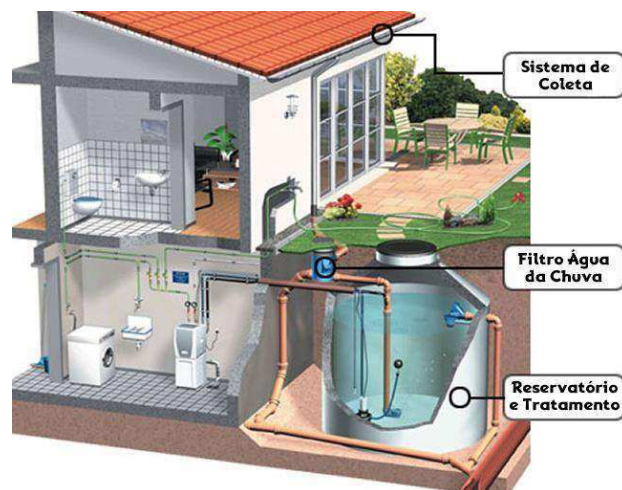
Figura 10- Fluxograma de atividades, com suas respectivas normas, do SAAC



Fonte: Thomaz (2008)

Esses componentes supracitados são definidos basicamente em: captação, transporte, filtragem, reservatório e tratamento. A identificação de alguns desses pode ser feita através da Figura 11.

Figura 11- Sistema de Captação de Água de Chuva



Fonte: (SUSTENTABILIDADE..., 2016).

A definição de cada componente do sistema, conforme segue:

a) Captação: A escolha mais comum para captação de água pluvial são os telhados. A

qualidade desta água depende do material das telhas e das condições climáticas e ambientais. Alternativamente, os pavimentos só devem ser escolhidos quando suscetíveis a acúmulos de substâncias poluentes (COMPONENTES..., 21--).

- b) Transporte: Realizado principalmente por calhas e condutores, com o objetivo de conduzir à água da captação para os reservatórios.
- c) Filtragem: Segundo Componentes (21--) os telhados e pavimentos são depósitos naturais de poeiras, folhas, flores, insetos e outros resíduos transportados pelo ar. Para impedir deposição desses poluentes nos reservatórios são utilizados os dispositivos de filtragem, tais como: crivos de folha e desviadores de primeiro fluxo (by pass). Os crivos de folha são usados para maiores detritos e o by pass conduz para fora do sistema a primeira chuva, que contém muita sujeira do telhado (TOMAZ, 2003).
- d) Armazenamento: Concomitantemente os tipos de reservatórios usados são os tanques de armazenamento e cisterna. Conforme Tomaz (2011) podem ser executados em concreto armado, alvenaria estrutural, alvenaria de tijolos cerâmicos, plásticos etc., e devem ser equipados com um extravasor para impedir pressões excessivas e garantir o pleno funcionamento.
- e) Tratamento: O grau é definido de acordo com uso previsto e com a qualidade da água em sua captação. Para o caso de sistemas não potáveis tratamentos como filtração simples, cloração e sedimentação natural, são suficientes.

3.4.2. Dimensionamento SAAC

Deve-se considerar o sistema de bombeamento após a coleta, já que o reservatório do SAAC é o componente mais oneroso do sistema de captação e utilização de água pluvial devendo, por essa razão o seu dimensionamento deve ser feito de forma criteriosa, compatibilizando os custos com a garantia de funcionamento intermitente. De acordo com Thomas (2001), seu custo pode representar entre 50% e 85% do SAAC, por conseguinte a sua definição influencia a viabilidade financeira do sistema. A dimensão do reservatório dependerá de diversas variáveis, tais como as chuvas locais, suas intensidades, demandas, área de captação e coeficiente de escoamento.

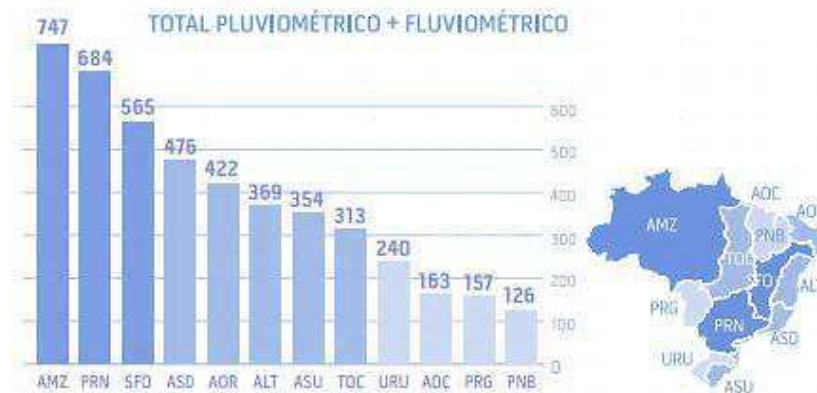
3.4.2.1. Precipitação Local

Segundo Rocha (2009) apud Souza (2015), o dimensionamento dos sistemas de aproveitamento e consequente reservatórios recebem influência direta da quantidade e da distribuição das precipitações. Quando ocorre a reposição da água, que está sendo consumida,

de forma continuada, necessita-se de menores reservatórios, situação associada a precipitações mais regulares e bem distribuídas. Certos métodos de dimensionamento utilizam-se de dados históricos de precipitação para representar mais adequadamente a variabilidade, fazendo uso de períodos chuvosos e não chuvosos (ROCHA, 2009).

Os dados da Conjuntura dos Recursos Hídricos, ANA (2018), demonstram que a precipitação média anual do Brasil é de 1.760 mm; entretanto, devido as suas dimensões continentais, o total anual de chuva permeia a faixa de 500 mm na região semiárida do Nordeste, superada pelos 3.000 mm da região Amazônica. A disponibilidade hídrica no Nordeste Brasileiro, sobretudo a região Semiárida, é afetada diretamente pelos baixos índices de precipitação registrados na área, pela irregularidade do seu regime, pelas temperaturas elevadas durante todo ano, entre outros fatores; ocasionando assim, uma disparidade brusca nas regiões hidrográficas, como demonstrado na Figura 12.

Figura 12- Precipitação e vazão médias por região hidrográfica.



Fonte: ANA (2018)

Analisando as informações da Conjuntura, além de ter menores índices pluviométricos a região semiárida apresenta uma grande variação desse total, ano a ano. Por essa razão torna-se necessário a construção de obras de infraestrutura, principalmente, com reservatórios artificiais, visando garantir a segurança hídrica das bacias e potencializar a disponibilidade hídrica superficial. A utilidade dos reservatórios não se limita aos períodos úmidos, podendo ser aproveitado nos intervalos de estiagem para regularizar e diminuir as flutuações sazonais, ao liberar parte do volume armazenado.

Na realização dos estudos hidrológicos, os eventos são definidos mediante emprego de equações e/ou curvas de intensidade-duração-frequência (IDF). Abordando a intensidade pluviométrica, definiu como sendo a relação da quantidade de chuva por unidade de tempo,

determinado com o período de retorno da área (REIS, 2017). A norma que fornece as informações sobre esses períodos é a NBR 10844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989). No entanto, a norma não apresenta as informações de todas as cidades brasileiras, a exemplo de Campina Grande -PB. Para tanto, utiliza-se os dados referente a cidade de João Pessoa na Paraíba, dispostos no Quadro 2.

Quadro 2- Intensidade Pluviométrica para a cidade de João Pessoa/PB

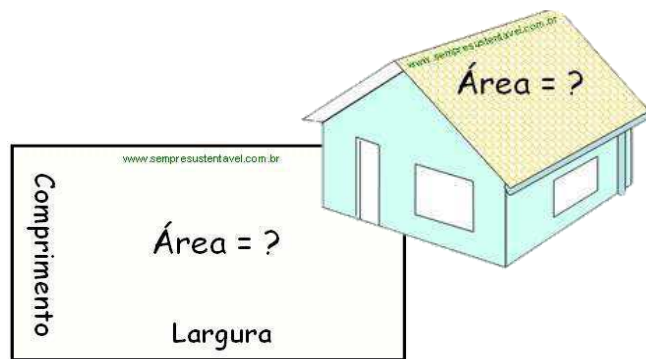
Período de Retorno T (anos)	Intensidade Pluviométrica (mm/h)
1	115
5	140
23	163

Fonte: ABNT (1989)

3.4.2.2. Área de Captação

Conforme Souza (2015) a determinação da área de captação é passível de erros e incertezas, sobretudo por utilização de métodos ineficientes. Esses são explicitados na norma 15527 (ABNT, 2019). A NBR 15527 afirma que a área de captação é a “área, em metros quadrados, projetada na horizontal da superfície impermeável da cobertura onde a água é captada” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019). A definição pode ser ilustrada através da Figura 13.

Figura 13- Projeção da coberta para cálculo da área de captação



Fonte: <http://www.sempresustentavel.com.br/hidrica/aguadechuva/agua-de-chuva.htm>

3.4.2.3. Coeficiente do Escoamento Superficial

Tomaz (2009) explicita que o volume de água precipitada não pode ser completamente aproveitado, em função da infiltração, limpeza de telhados, perda por evaporação, entre outros. Portanto, para calcular o volume que pode ser aproveitado, utiliza-se o coeficiente de escoamento superficial ou coeficiente de run off (se usa a letra C para denominá-lo), que é o

quociente entre o volume de água que esco superficialmente, pelo volume total da água precipitada. A variação do coeficiente em função do material das coberturas está disposta na Quadro 3.

Quadro 3- Coeficiente de run off médios

MATERIAL	COEFICIENTE DE RUNOFF
Telhas cerâmicas	0,8 a 0,9
Telhas esmaltadas	0,9 a 0,95
Telhas corrugadas de metal	0,8 a 0,9
Cimento amianto	0,8 a 0,9
Plástico	0,9 a 0,95

Fonte: Tomaz (2009)

Volume de água de chuva que pode ser aproveitado encontra-se na Equação 1:

$$V = P \times A \times C \times \eta \text{ first flush} \quad (1)$$

Sendo:

V= volume da cisterna em litros

P= precipitação média mensal (mm)

C= coeficiente de runoff do telhado (adimensional)

η first flush = rendimento do dispositivo de carga de lavagem do sistema

A= área do telhado em projeção (m²)

3.4.2.4. Demanda

Segundo Twort et al. (2000), a demanda de água varia conforme a cultura, taxa de ocupação do solo, clima e padrões habitacionais, além de ser considerado uma variável fundamental para este estudo. O consumo médio mundial aproxima-se a faixa de 170 litros por habitante (FLORES et al., 2012); enquanto que, no Brasil a média é de 154,1 l/hab.dia para o ano de 2016 (SNIS, 2016). No Nordeste esse consumo médio para o mesmo ano é de 112,5 l/hab.dia, e para o estado da Paraíba é de 113,6 l/hab.dia, valores abaixo da média nacional.

3.4.2.5. Reservatório

A norma NBR 15527 (ABNT, 2007) contém alguns métodos para dimensionamento de reservatório para água pluvial, no geral os modelos calculam o paralelo entre a demanda e a quantidade de chuva captada, tendo como parâmetros a precipitação local, a área de captação e consumo. São eles: Rippl, Maior período de Estiagem, Métodos empíricos (Brasileiro, Alemão e inglês) e Simulações, conforme segue

- a) Método de Rippl: Consiste num balanço de massa, construído com séries históricas de precipitação mensal ou diária. O limite dos intervalos em mensal discorre do fato de que maiores faixas implicarão em reservatórios superdimensionados e caso não haja variações muito grandes das médias mensais, o volume do método de Rippl torna-se zero (TUCCI, 2011). Para o cálculo são usadas as variáveis: a precipitação da chuva no tempo t , o coeficiente de run off, a área de captação e a demanda no tempo.
- b) Método do maior período de estiagem: Dimensionar com base no máximo intervalo de dias consecutivos sem chuva, valor obtido através de séries históricas de dados diários. No cálculo são usadas as variáveis: número de dias consecutivos sem chuva N e demanda diária para chuva (COHIM, 2008).
- c) Método Prático Brasileiro (Método Azevedo Neto): Considera-se apenas o volume captado e o período de estiagem, sem levar em consideração a influência da demanda. (Ibidem)
- d) Método Prático Alemão: Tamanho do reservatório será o menor valor de 6% do volume de consumo anual ou do volume anual de precipitação captada.
- e) Método Prático Inglês: Também não é considerada no cálculo a demanda, apenas a precipitação média anual, a área de coleta e de 5% do montante de água coletada.
- f) Método prático australiano: Considera o coeficiente de run off, a área de captação, a precipitação média mensal e perdas por evaporação.
- g) Modelos computacionais – simulações: Execução de balanços hídricos por meio de volumes pré-definidos de reservatórios, não levando em consideração a evaporação da água, que podem ser escolhidos pelo usuário ou sugeridos pelo modelo. É necessário optar por dados históricos que possuam alguma perspectiva futura, para garantir a confiabilidade das simulações (TOMAZ, 2005; SOUZA, 2015).

3.5. TELHADO VERDE

Retomando a temática da urbanização, a mudança do uso do solo impactou no balanceamento de energia entre a superfície e a atmosfera, aumentando a transferência de calor, além da deposição de resíduos sólidos que contribui na emissão de gases de efeito estufa. A combinação desses fatores tende a elevar a temperatura ambiental, que, por conseguinte, favorecem a formação de chuvas, sobretudo as convectivas sobre os conglomerados urbanos

(ARAÚJO, 2007). As interações físicas entre a superfície e a atmosfera, tendem ao longo do tempo a promover mudanças na distribuição e disponibilidade dos recursos hídricos.

Com o objetivo de melhorar o conforto ambiental, a técnica dos telhados verdes tem sido implantada em várias partes do mundo, motivada por questões ambientais que exigem uma postura verde no ambiente da construção civil. O conforto é alcançado pela atuação das plantas, que cobrem o telhado e funcionam como isolantes térmicos, sendo capazes de reduzir significativamente o consumo de energia, por evitarem gastos de aquecimento e refrigeração (TELHADO..., 21--). Outras vantagens de implantação dos telhados verdes são: detenções das águas pluviais, redução do escoamento superfície, benefício estético de valorização do espaço urbano e psicológicos atuando como redutor do estresse humano.

Os telhados verdes (Figura 14) são caracterizados como toda cobertura, habitações ou mesmo estruturas de apoio, compostos de uma camada de solo ou substrato e outra de vegetação; ou seja, é um sistema de cobertura que no lugar de materiais tradicionais, usa plantas na superfície do telhado. A popularização da cobertura verde avançou pela possibilidade de criar espaços verdes que agregam a natureza à selva de concreto e aço. Em Londres, até o telhado de prédios grandes, de luxo e sótãos já possuem essa cobertura.

Figura 14- Telhado Verde aplicado em um edifício de Manhattan, Estados Unidos



Fonte: Dom Total (2003)

Do ponto de vista da construção civil, verifica-se que para correta execução dos telhados verdes, por se tratar de uma técnica construtiva que não está estabelecida por normas da ABNT, se faz necessário a realização de um pré-projeto com o detalhamento de todos os itens que irão compor o futuro telhado. Avaliando a localização do espaço, os telhados podem ser definidos como acessíveis e inacessíveis, sendo o primeiro aberto ao uso das pessoas, proporcionando benefícios sociais aos usuários e agregando valor comercial ao edifício, e os inacessíveis que não permitem a circulação de pessoas, podendo ser planos, curvos e com inclinações

(ARAÚJO, 2007). Quanto a aplicabilidade, Tomaz (2009) afirma que a cobertura verde pode ser efetiva para todo tipo de construções, desde prédios residenciais, comerciais até indústrias.

Embora na atualidade os telhados verdes ganhem notoriedade nas discussões ambientais, enquanto técnica, eles não são uma inovação tecnológica. Registros históricos evidenciam que antes de Cristo (A.C) já era feito o uso dessa técnica de aplicação de telhados verdes, objetivando a satisfação estética; porém, não descaracteriza seu estimável valor de manutenção do ciclo hidrológico. Os jardins suspensos da Babilônia (Figura 15), não são apenas uma das sete maravilhas do mundo antigo; mas também, são os registros mais antigos de coberturas verdes. Para Osmundon (1999), a popularidade dessas construções ocorreu em função do ótimo desempenho térmico proporcionado, uma vez que a camada de vegetação em climas quentes impede a passagem de calor para dentro das edificações e em climas frios retêm por mais tempo o calor.

Figura 15- Jardim Suspenso Babilônia



Fonte: <https://dicasarquitectura.com.br/os-jardins-suspensos-da-babilonia/>

O alemão Walter Kolb, doutor da Universidade de Munich e de Hannover, especialista em paisagismo, abordou em seu livro “The rainwater technology Handbook”, que o uso de “telhados verdes” pode reduzir o escoamento de águas pluviais do telhado dos edifícios, entre 50% a 90%. Segundo Khan (2001) o valor médio de run off de telhados verdes é $C=0,27$. Porém os valores específicos para cada material e seus constituintes estão dispostos no Quadro 4. Kolb (2001) também aborda a cobertura como um bio filtro, melhorando consideravelmente a qualidade da água. Após percolar pelo telhado a água sai com uma cor de chá, podendo ou não ser aproveitada devido a cor aparente.

Quadro 4- Coeficiente de runoff de coberturas

Tipo de superfície	Coeficiente de runoff C	Tipo de superfície	Coeficiente de runoff C
Pavimento asfáltico	0,95	Gramado plano entre 0 a 1% de decl.	0,25
Pavimento concreto	0,95	Gramado médio entre 1% a 3% de decl.	0,35
Pavimento de tijolos	0,85	Gramado alto entre 3% a 10% de decl.	0,40
Pavimento de pedras	0,75	Gramado muito alto >10% de decl.	0,45
Telhado linha de base	0,95	Vegetação plana (0 a 1% de decl.	0,10
Telhado verde < 10cm	0,50	Vegetação média (0 a 1% de decl.	0,20
Telhado verde entre 10cm e 20cm	0,30	Vegetação alta (0 a 1% de decl.	0,25
Telhado verde entre 20cm e 50cm	0,20	Vegetação muito alta (0 a 1% de decl.	0,30
Telhado verde > 50cm	0,10		

Fonte: LEED existing buildings (2009)

3.5.1. Legislação

Não consta no Brasil nenhuma lei federal que regulamente a instalação de telhados verdes em edifícios, mesmo que os projetos de lei de nº 1.703-A em 2011 e o de nº 1.794-A em 2015 tenham sido apresentados, ambos não foram aprovados pela Câmara dos Deputados (BRASIL, 2011); (BRASIL, 2015). Entretanto, existem legislações estaduais a exemplo da lei nº 6.349/2002 do Rio de Janeiro e nº 14.243 em Santa Catarina; e municipais, como a lei nº 18.112/2015 de Recife (PE), a de nº 115/2009 da cidade de São Paulo (SP), a de nº 090/2013 de Niterói (RJ) e a lei a de nº 1174/2018 de Blumenau (SC) (SANTA CATARINA, 2007) (RIO DE JANEIRO, 2013) (RECIFE, 2015) (SÃO PAULO, 2015) (BLUMENAU, 2018).

Existe na Paraíba, a lei estadual de nº 10.047 (2013), que estabelece a obrigatoriedade da instalação de telhados verdes em projetos de condomínios edificadas (residenciais ou não) com mais de três pavimentos (PARAÍBA, 2013). A lei também discorre sobre as especificações da etapa de execução, na qual a vegetação escolhida deve ser, preferencialmente, a nativa por conseguir resistir as variações térmicas do clima e não propagar vetores de doenças. Mesmo que esteja em vigor desde 2013, a lei está fadada a se tornar “letra morta”, já que há poucos registros de projetos de edificações (independente do uso), em construções públicas ou privadas, no território paraibano, que tenham sido executados segundo as determinações da lei.

3.5.2. Componentes

O sistema apresenta sete camadas (Figura 16) sobrepostas ao telhado do edifício, que asseguram o isolamento da cobertura e a integridade dos materiais de construção e do reino botânico que hospeda. As camadas são: laje, camada impermeabilizante, barreira contra raízes, camada drenante, camada filtrante, solo e a vegetação (ARAÚJO, 2017). Breve descrição de cada camada, a seguir:

- a) Laje: Elemento estrutural inerente a edificação, no seu dimensionamento devem ser consideradas as cargas permanentes e as cargas acidentais, provenientes da cobertura verde.
- b) Camada impermeabilizante: Possui a função de proteger a construção, para que não haja infiltrações (HENEINE, 2008), podendo ser realizada com materiais betuminosos e sintéticos (lona vinílica, manta plástica etc.).
- c) Barreira contra raízes: Protege a raiz contra danos mecânicos e o telhado contra os danos da expansão das raízes, como também armazena água e nutrientes. (DETALHE..., 2014)
- d) Camada drenante: Escoa o excesso de água através de drenos, pode ser constituída de argila expandida, brita ou seixos de diâmetros semelhantes, cacos de telhas, refugos da indústria cerâmica etc. Os elementos a base de poliestireno são usados por também terem características de isolantes térmicos. (ARAÚJO, 2017; HENEINE, 2008)
- e) Camada filtrante: Garante a estanqueidade da estrutura, permitindo que a água de chuva não arraste as partículas sólidas, geralmente é utilizado uma manta geotêxtil. (ECOTELHADO, 2010).
- f) Solo: espessura varia conforme a raízes das plantas, é importante que o substrato orgânico que deve possuir boa drenagem, de preferência um solo não argiloso. (ARAÚJO, 2007)
- g) Vegetação: Escolha de acordo com critérios como a resistência da estrutura na qual será construído (HENEINE, 2008), conhecimento do clima local, o tipo de substrato a ser utilizado e da manutenção que será adotada.

Figura 16- Camadas do telhado verde



Fonte: <https://www.tuacasa.com.br/telhado-verde/> (2019)

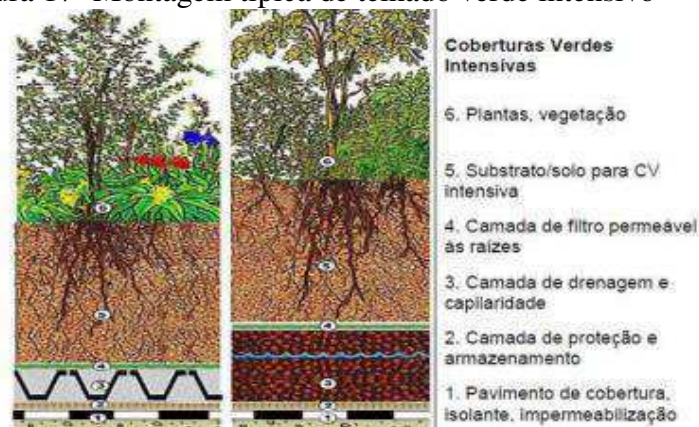
3.5.3. Tipos

Em função da vegetação escolhida, os telhados verdes podem ser telhados verdes intensivos, semi-intensivos e extensivos, conforme descrição abaixo:

Intensivos: Esse tipo possui uma finalidade mais paisagística e menos utilitária. Caracterizado pela utilização de plantas grandes, árvores e arbustos de médio porte, necessitando de uma espessura mínima do substrato de 15 cm podendo chegar até 2 m. Devido ao fato dessas plantas possuírem exigências semelhantes à jardins tradicionais, tais como sistemas de irrigação, adubo e demanda de água elevada, a durabilidade da cobertura dependerá da manutenção. No geral, esse é o tipo que promove o maior gasto, tanto em sua instalação quanto na mão de obra para manutenção e gastos com materiais, este último pela necessidade de uma estrutura reforçada.

A carga do sistema pode chegar até 1200 kg/m², devido a maior espessura do solo e da camada drenante. Para tornar-se exequível são indicadas inclinações de 0° a 1,2° (NASCIMENTO, 2010). As camadas desse tipo, são ilustradas na Figura 17:

Figura 17- Montagem típica de telhado verde intensivo



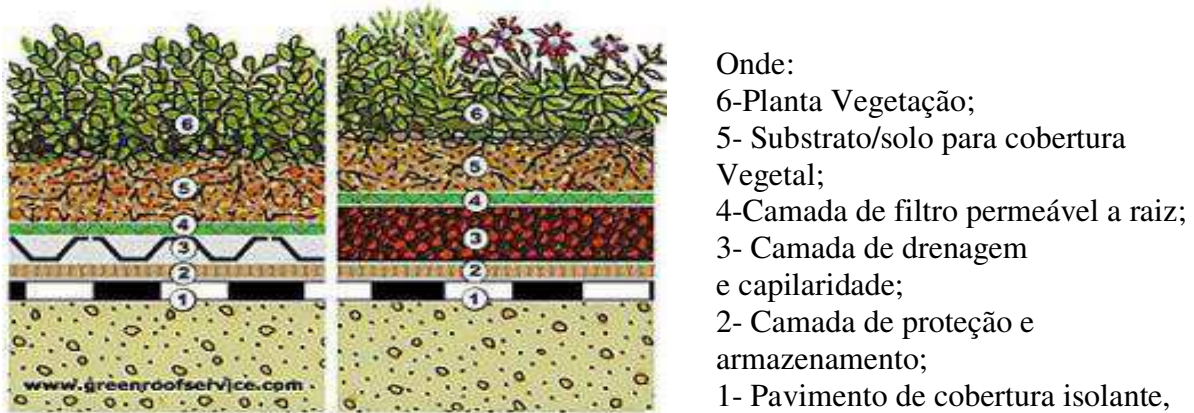
Fonte: <http://www.greenroofservice.com> (2015)

Semi-intensivo: Intermediárias entre extensivas e intensivas, cobertas com gramíneas, árvores e arbustos de pequeno porte. Esse tipo de vegetação necessita de cuidados com relação à água e nutrientes, custos de manutenção menores que no sistema intensivo. A espessura dessa cobertura tem uma dimensão mínima de 10 a 20 cm (NASCIMENTO, 2010).

Extensivo: Coberturas com espessuras inferiores a 20 cm, compostas por espécies de pequeno porte, como as autóctones, resistentes à pouca ou nenhuma manutenção. Os principais custos relativos ao sistema, de irrigação e fertilização, são contados apenas até as plantas se

estabelecerem, eventualmente surgirão gastos de manutenção para assegurar a funcionalidade da cobertura verde (NASCIMENTO, 2010). As camadas desse tipo, podem ser identificados na Figura 18:

Figura 18- Montagem típica de telhado verde extensivo



Fonte: <http://www.greenroofservice.com> (2015)

Laar (2001) discorreu sobre as espécies de plantas que melhor resistiriam ao clima tropical, quando aplicadas em telhados verdes extensivos, são elas: *Portulaca grandiflora*, *tradescantia pallida*, *Asparagus densiflorus* e *Senico confusos*. As espécies são popularmente conhecidas como Onze-horas, Coração roxo, Aspargo rabo de gato e Margaridão respectivamente. O autor também tratou da possibilidade de cultivo de outras espécies, como Cebolinha, Louro, Jasmim amarelo, Magnolia, Azaléia, Amor perfeito, Begônia entre outras.

3.5.4. Custos

Boni (2015) determinou que o custo médio do preço do telhado verde varia entre R\$100,00 a 150,00/m² dependendo do tipo e região. Logo, ele não aparenta ser vantajoso, já que seu custo de implantação inicial chega ao dobro do valor de telhados convencionais ou lajes impermeabilizadas. A vantagem consiste no seu ciclo de vida, pois sua duração chega ao dobro do tempo dos telhados convencionais; desde que, sejam realizados, adequadamente, os cuidados específicos e periódicos de manutenção.

3.5.5. Redução da temperatura

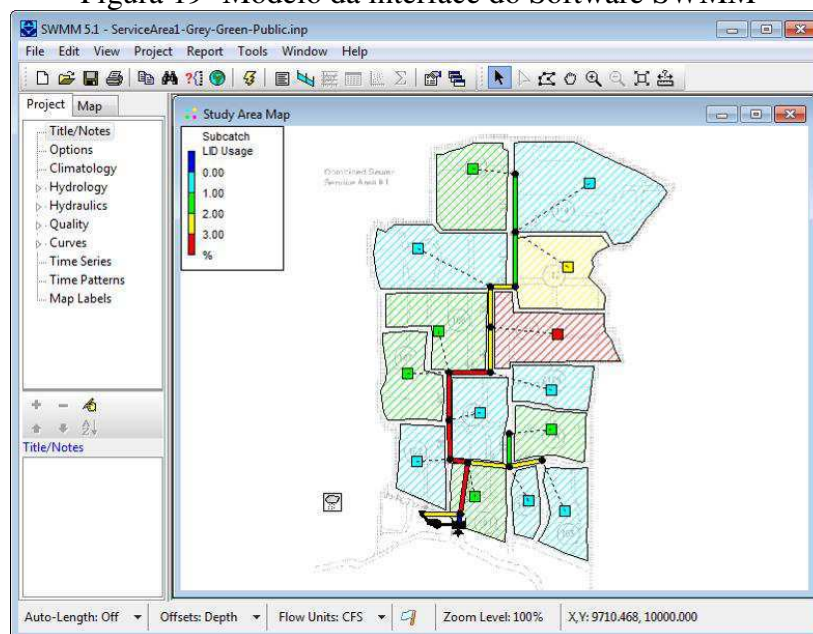
Conforme exposto por Spangenberg (2004), a redução da temperatura do telhado verde, no interior da edificação, pode chegar a marcas de até 15°C; substituindo assim, as alternativas convencionais de resfriamento dos ambientes, como ar condicionado e ventiladores. Para tanto, além de reduzir a temperatura também promove a redução do consumo energético.

A preocupação com o conforto térmico também se estende ao ambiente escolar, Talaia e Silva (2015) realizaram uma pesquisa correlacionando o campo térmico e parâmetros termo higrométricos do ambiente de sala de aula com a proficiência dos alunos. Os autores concluíram que são inversamente proporcionais, ou seja, altas temperaturas promovem o baixo desempenho na aprendizagem e avaliação dos alunos; uma vez que, os alunos perdiam o foco durante as atividades didáticas, devido o campo térmico inadequado, com o calor exacerbado ao qual estavam submetidos.

3.6. STORM WATER MANAGEMENT MODEL (SWMM)

O modelo de gestão do software Storm Water Managment Model (SWMM) possui dentro da comunidade científica grande importância e grande aceitação pela possibilidade de planejamento, análise e design relacionados ao escoamento de águas pluviais, em pequenas bacias rurais e urbanas (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, em inglês U. S. Environmental Protection Agency – EPA, 2015). O modelo de sua interface pode ser ilustrado através da Figura 19.

Figura 19- Modelo da interface do Software SWMM



Fonte: EPA (2014)

O SWMM considera vários processos hidrológicos associados ao escoamento em seus cálculos, são eles:

- Redução do escoamento via práticas de infraestrutura verde;
- Precipitação variável no tempo (precipitação) e evaporação da água superficial;

- Interceptação de chuva de armazenamento de depressão;
- Infiltração de chuva em camadas de solo não saturado; e
- Percolação de água infiltrada em camadas de águas subterrâneas.

O SWMM também permite a representação e combinações de tecnologias de infraestrutura verde, com controles de LID, objetivando a determinação da eficácia de suas aplicações. O programa pode modelar oito tipos de tecnologias, sendo elas os jardins de chuva, células de biorretenção (ou bioswales), swales vegetative, trincheiras de infiltração, telhados verdes, desconexão no telhado (downspout), coleta de água de chuva e sistemas de pavimento permeável contínuo (EPA, 2016).

As etapas na execução do SWMM, na modelagem do escoamento, são: Especificar um conjunto predeterminado de opções de trabalho e de propriedades dos objetos; Desenhar uma representação gráfica dos objetos físicos do sistema no mapa da área de estudo; Editar as propriedades dos objetos que compõem o sistema; Selecionar o conjunto de opções para análise; Executar a simulação; Ver os resultados da simulação.

O cálculo do escoamento superficial, durante a simulação, é realizado por uma combinação da equação da continuidade e de Manning, que podem ser escritas da seguinte forma (Na equação 2):

$$\frac{dd}{dt} = i^* - \frac{W}{A.n} (d - d_p)^{5/3} S^{1/2} \quad (2)$$

W = largura representativa da sub-bacia;

n = coeficiente de rugosidade de Manning;

A = Área da sub-bacia;

S = declividade da sub-bacia;

dp = altura do armazenamento por depressão;

i= precipitação efetiva;

d = profundidade da água no reservatório; e

t = tempo.

4. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1. LOCALIZAÇÃO

O Complexo Habitacional Aluizio Campos possui a estrutura de uma cidade planejada, com creches (escolas de educação infantil de 0 a 3 anos), postos de saúde, escolas (escola de educação infantil e ensino fundamental de 4 a 14 anos), CRAS, praças com academia, praça para realização de eventos (PMCG, 2018). O complexo fica localizado na zona sudeste da cidade, em sua periferia, no bairro do Ligeiro (Figura 20). O complexo foi fruto do PMCMV e teve suas unidades habitacionais distribuídas por meio de sorteio, em conformidade com os critérios do programa Minha Casa, Minha Vida, auditado pelo Ministério Público Federal e Polícia Federal. A entrega das unidades habitacionais às famílias contempladas foi realizada no dia 11 de novembro de 2019, após, aproximadamente, cinco anos do início das obras.

Figura 20- Localização Complexo Habitacional



Fonte: Autor adaptado Google Maps (2019)

A edificação pública em estudo é uma escola municipal localizada no Complexo Habitacional Aluizio Campos (Figura 21), de Campina Grande-PB, que iniciará suas atividades no ano de 2020 e atenderá da educação infantil ao ensino fundamental (PMCG, 2018).

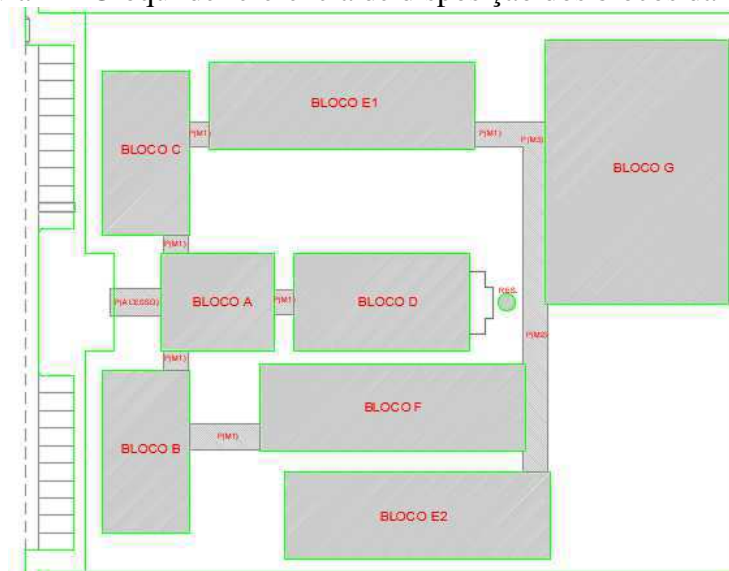
Figura 21- Localização da escola do estudo no Complexo Habitacional Aluízio Campos, Campina Grande- PB



Fonte: Autora adaptado de Google Earth Pro (2019)

O projeto da escola (Figura 22) foi desenvolvido pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE) - programa federal que financia a construção destas escolas. Ela conta com 12 salas de aula, áreas de convivência, uma cantina e uma quadra poliesportiva como equipamentos e espaços que garantem o pleno funcionamento da unidade. Possui uma capacidade de atendimento de até 780 alunos, em dois turnos (matutino e vespertino), e 390 alunos em período integral. O consumo generalizado da escola é definido por 50 L/dia para cada aluno (THOMAZ, 2000), chegando à um total de 39 m³/dia.

Figura 22- Croqui de referência de disposição dos blocos da escola



Fonte: Autora adaptado de FNDE (2019)

Legenda:

Bloco A- Administrativo

Bloco B e C- Pedagógico

Bloco D- Serviço

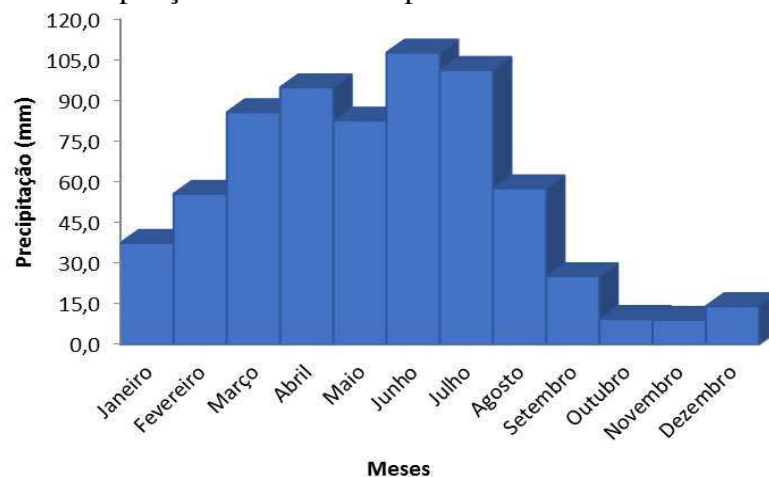
Bloco E1, E2, F- Salas de Aula

Bloco G- Quadra coberta

4.2. CONDIÇÕES HIDROLÓGICAS

A Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAs) publicou, em 2018, uma série histórica de precipitações médias mensais que compreendem os anos de 1981 a 2018 do município de Campina Grande-PB, localizado no semiárido nordestino. Observa-se que os totais médios mensais variando de 9,0 mm no mês de novembro a 110,0 mm no mês de junho (AESAs, 2018). Apresentando, portanto, precipitações concentradas entre os meses de março a julho (Figura 23), também conhecido como período chuvoso.

Figura 23-Precipitação média mensal para a série histórica de 1983 - 2017



Fonte: AESAs (2018)

4.3. NORMAIS CLIMATOLÓGICAS

O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) divulgou, em 2018, padrões climatológicos do período de 1981-2010, nomeado de normais climatológicas, sendo “médias de dados climatológicos calculados para períodos consecutivos de 30 anos”. O instituto divulga as normais de todas as cidades do país que são monitoradas pelas estações meteorológicas de superfície do INMET em operação. Os resultados das normais climatológicas para o município de Campina Grande –PB estão demonstrados no Quadro 5.

Quadro 5- Normais climatológicas de Campina Grande- PB

Normal Climatológica De Campina Grande (PB) 1981-2010												
Precipitação Acumulada (mm)												
Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Ano
45,6	62,8	107,1	89,3	101,7	123,6	96,7	80,1	30,0	12,5	12,3	15,3	777,0
Normal Climatológica de Campina Grande (PB) 1981-2010												
Intensidade do Vento (m.s⁻¹)												
Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Ano
4,0	4,0	3,7	3,4	3,2	3,2	3,4	3,8	4,2	4,4	4,5	4,3	3,8
Normal Climatológica de Campina Grande (PB) 1981-2010												
Insolação Total (horas)												
Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Ano
239,3	213,7	227,8	203,9	184,4	149,3	163,7	197,2	236,9	270,1	265,6	247,0	2598,9
Normal Climatológica de Campina Grande (PB) 1981-2010												
Temperatura Média (°C)												
Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Ano
24,70	24,70	24,70	24,3	23,4	22,10	21,5	21,50	22,50	23,50	24,20	24,50	23,5
Normal Climatológica de Campina Grande (PB) 1981-2010												
Umidade Relativa do Ar (%)												
Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Ano
74,3	75,0	77,4	79,2	81,6	84,0	82,9	80,3	74,7	71,3	71,0	72,0	77,0

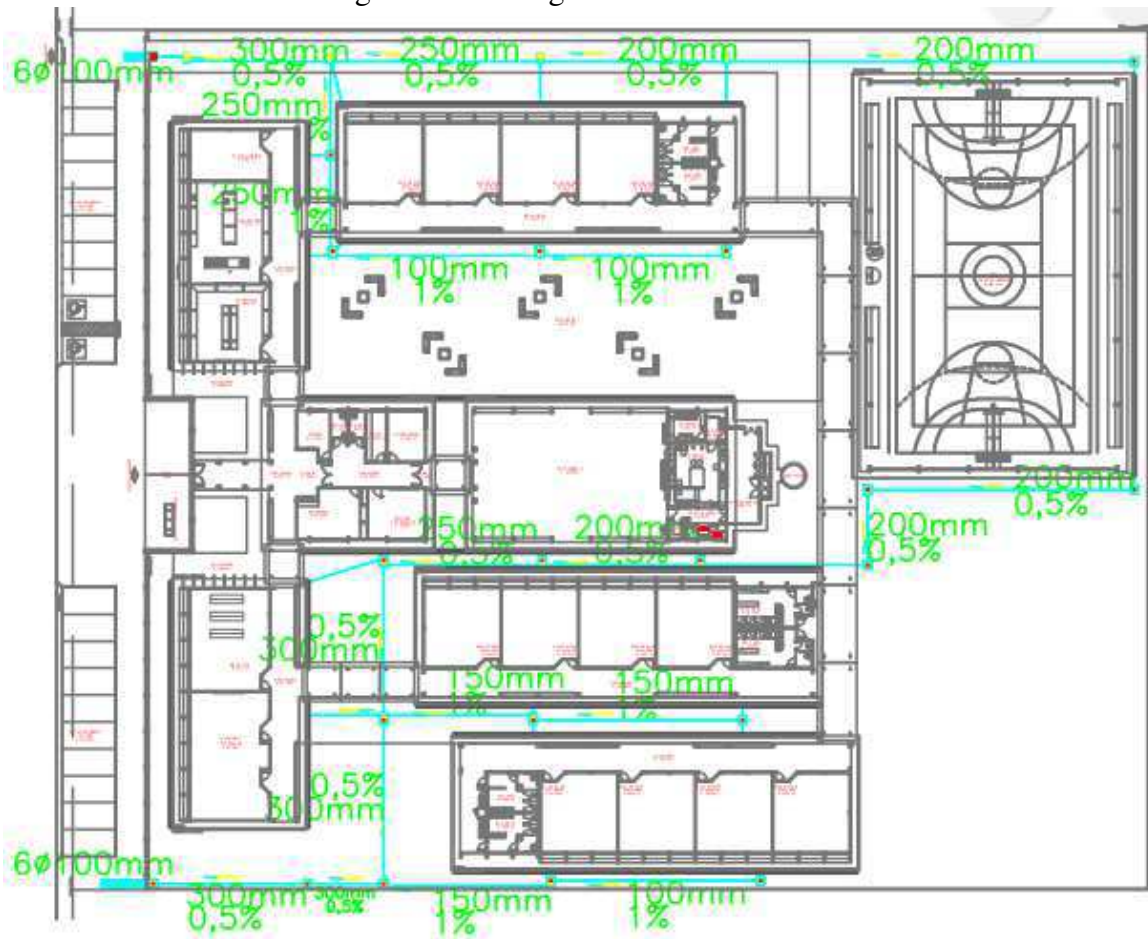
Fonte: INMET (2018)

4.4. REDE DE DRENAGEM







Segundo informações do responsável técnico da obra², majoritariamente a drenagem no complexo é realizada superficialmente. Neste sentido, a área é dividida em duas bacias que à jusante descarregam em dois canais naturais distintos. Dentro da edificação, os elementos do esgotamento pluvial (tubulações, caixa de inspeção e grelha) estão demonstrados na figura 24. Informações obtidas pelo projeto hidráulico fornecido pelo site do próprio FNDE.

² Engenheiro da Construtora Rocha, responsável pela construção do Complexo Aluizio Campos.

Figura 24- Drenagem dentro do terreno



LEGENDA

-  CAIXA DE INSPEÇÃO DE 60 x 60cm COM TAMPA DE FERRO FUNDIDO
-  CAIXA DE AREIA DE 60 x 60cm COM TAMPA DE CONCRETO E GRELHA DE FERRO
-  CAIXA DE AREIA DE 80 x 80cm COM TAMPA DE CONCRETO
-  TUBULAÇÃO DE ESGOTO PRIMÁRIO (PVC SOLDÁVEL)
-  TUBULAÇÃO DE ESGOTO PLUVIAL (PVC SOLDÁVEL)
-  CANALETA PADRÃO AGETOP COM GRELHA DE FERRO CHATO

Fonte: Autora (2019)

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA

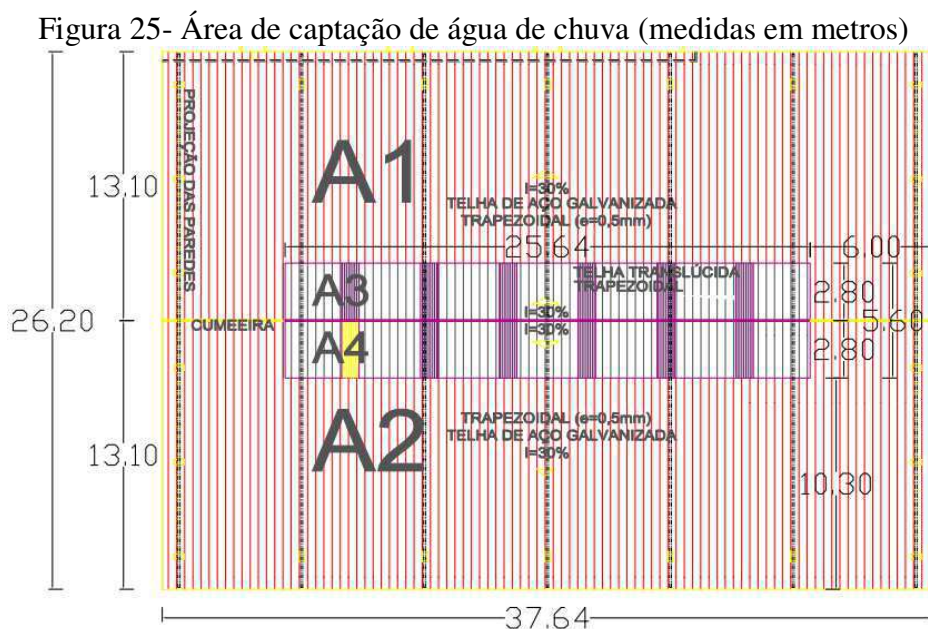
Para a viabilização e implantação do reservatório de água de chuva, e a escolha do dimensionamento, foram utilizados dados referentes à precipitação local sobre a área de contribuição, coeficiente de escoamento, demandas, área disponível para instalação e dimensões do reservatório, volume de chuva coletado, entre outros; cujas metodologias de aquisição estão descritas abaixo.

5.1.1. Dados pluviométricos

Os dados pluviométricos, sobre a precipitação acumulada, utilizados neste trabalho foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia- INMET (2018), citados anteriormente. Dados esses foram coletados da Estação Meteorológica de Campina Grande. A estação está localizada no bairro Centenário (nas dependências da Embrapa), em latitude -7.228° Sul, longitude -35.88° Oeste e altitude de 540 metros.

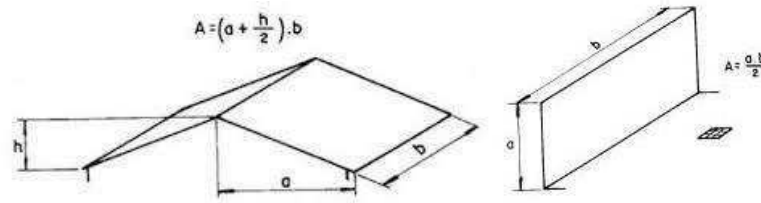
5.1.2. Área de Contribuição

O cálculo das áreas de contribuição foi feito baseado nas áreas de telhado verificadas na planta de cobertura da edificação, considerando a inclinação dos telhados e as orientações da NBR 15527 de 2007. Delimitou-se as áreas da telha da quadra poliesportiva como contribuintes para captação de água pluviais, pela dimensão das mesmas como também pelas áreas próxima disponíveis a implantação do reservatório. Essas áreas estão demonstradas na Figura 25.



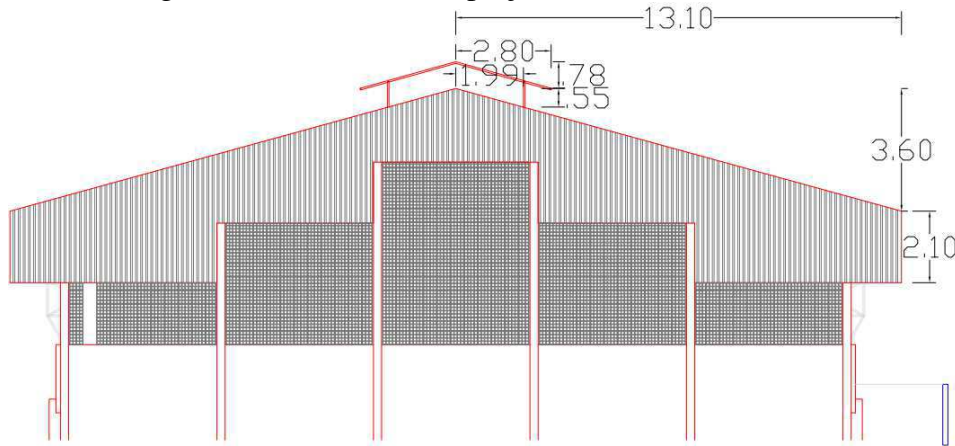
Seguindo o procedimento determinado na NBR 10844 e sabendo que a contribuição é exclusiva do telhado, tem-se que o cálculo é dado pelas fórmulas expostas na Figura 26, cujos parâmetros estão expressos na Figura 27.

Figura 26- Indicações para cálculos de contribuição com superfície inclinada e plana vertical



Fonte: NBR 10844 (1989)

Figura 27- Parâmetros do projeto (medidas em metros)



Fonte: Autora (2019)

5.1.3. Demandas

Sendo a água captada usada para fins da rega da vegetação componente do telhado verde e limpeza da quadra poliesportiva, o cálculo da demanda diária será realizado apenas para o atendimento dessas áreas.

Conforme Thomaz (2009), a taxa de consumo de água para a irrigação de jardins é 1,5 litros/dia/m². Como a vegetação optada no projeto Babosa e Coroa de Frade, possui uma baixa demanda, considera-se um prazo de uma vez por semana para irrigação. Ainda conforme o autor, o consumo para limpeza dos pátios é usualmente é 2 L/m²xdia e a frequência é 1 vez/semana.

5.1.4. Reservatório

Na definição do modelo de reservatório optado para a situação foram avaliados aspectos econômicos, construtivos, de capacidade e estéticos. Os modelos avaliados foram:

a) Cisterna Vertical Modular, da Tecnotri³

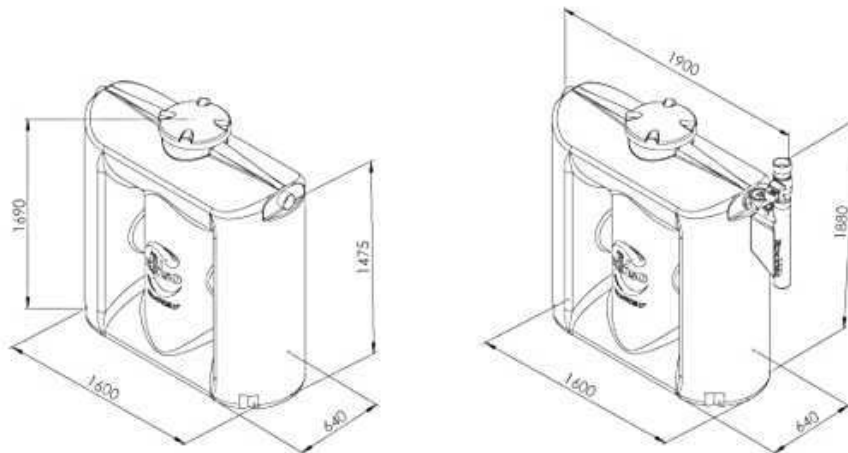
Por possuir um design vertical e moderno, esse reservatório não demanda altos custos na instalação, não necessitando ficar abaixo do solo. Ele pode ser adaptado em corredores, garagens, terraços e jardins, podendo harmonizar com o ambiente e compor a decoração, conforme a Tecnotri. O modelo e as dimensões desse modelo, de capacidade de armazenamento útil de 4 mil litros estão contidas nas Figuras 28 e 29.

Figura 28- Modelo cisterna vertical modular, Tecnotri



Fonte: Tecnotri Indústria de Plásticos Ltda (2016)

Figura 29- Dimensões cisterna vertical modular, Tecnotri



Fonte: Tecnotri Indústria de Plásticos Ltda (2016)

Além de possuírem a vantagem de armazenarem, internamente, elevados volumes de água, o sistema conta com um Filtro (Figura 30) que protege o reservatório contra mosquitos da dengue, germes e bactérias, evitando a entrada de elementos estranhos que possam ser arrastados nas calhas. Na situação da instalação, caso o volume da demanda seja superior a

³ Tecnotri Indústria de Plásticos Ltda (2016) é a empresa que produz esse tipo de tecnologia

1000 Litros, apenas uma das cisternas necessitará do filtro já que as demais estarão ligadas entre si.

Figura 30- Modelo do Smart Filtro



Fonte: Tecnotri Indústria de Plásticos Ltda (2016)

b) Cisterna Acqualimp, da Acqualimp Brasil

A cisterna é ideal para captação de água de chuva por possuir sistema de tratamento interno; mesmo com a dificuldade de estar abaixo do solo, o reservatório contém todos os acessórios necessários para a instalação, captação e distribuição de água; destacando-se também, a garantia da vedação completa contra impurezas, insetos, animais e sujeiras.

Segundo a Acqualimp⁴, o reservatório possui facilidade para manutenção devido uma camada interna lisa. A Figura 31 contém uma representação do modelo do reservatório de 5000 Litros (de altura de 184 cm e diâmetro de 224 cm) e a Figura 32 traz o esquema para sua instalação, proposto pela empresa.

Figura 31- Cisterna de Polietileno Água de Chuva Acqualimp



Fonte: Acqualimp Brasil (2016)

⁴ Acqualimp Brasil (2016) empresa dedicada a fabricação de reservatórios.

Figura 32- Esquema de instalação Cisterna de Polietileno Água de Chuva Acqualimp



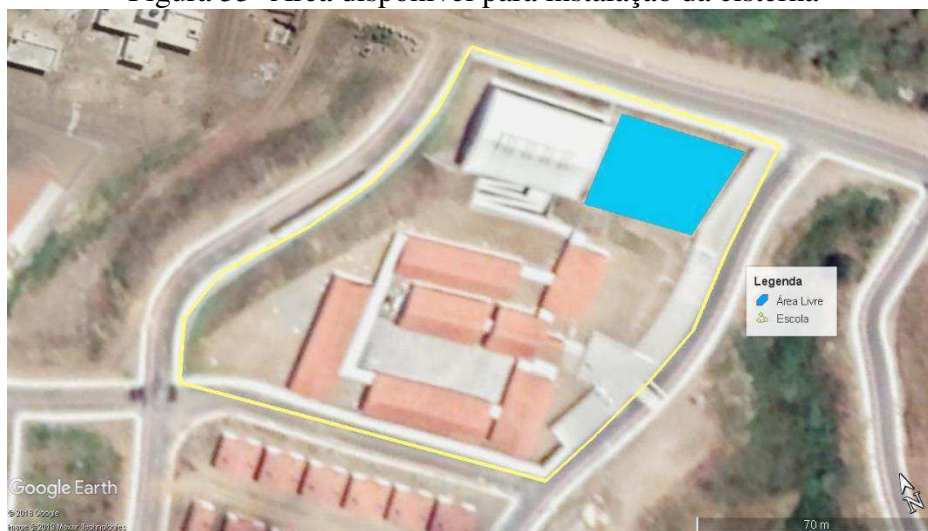
Fonte: Acqualimp Brasil (2016)

Visando o atendimento pleno do sistema, para o cálculo das dimensões do reservatório, foram utilizados os métodos de Rippl e das simulações, em conformidade com o exposto na NBR 15575 e com o que fora discorrido por Thomaz (2007), uma vez que destacam-se como os métodos mais fidedignos para dimensionamento.

5.1.5. Área disponível para instalação

Como a captação da água de chuva ocorrerá de forma exclusiva pelas águas percoladas da quadra coberta, a instalação da cisterna deverá ocorrer próxima da quadra. O terreno possui uma área livre, nivelada, ao lado da área de captação de aproximados 1000 metros quadrados, demonstrada pela Figura 33, permitindo a instalação de ambas as cisternas.

Figura 33- Área disponível para instalação da cisterna

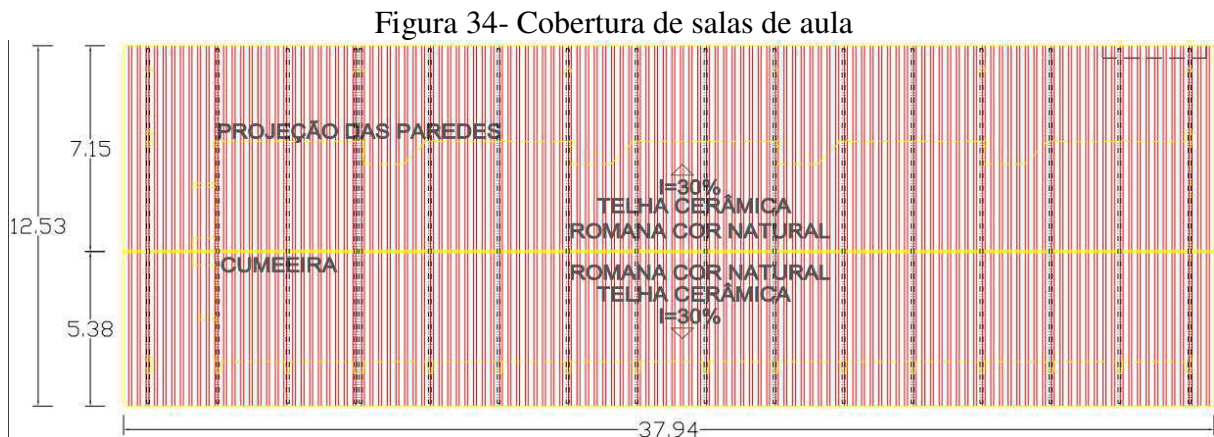


Fonte: Autora (2019)

5.2.TELHADO VERDE

5.2.1. Áreas de aplicação

Mediante o exposto na delimitação das áreas planejadas para o recebimento do telhado verde, foram selecionadas para cobertura, apenas, as salas de aulas. A cobertura convencional presente, definido pelo modelo construtivo padrão do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE), é de telha de cerâmica romana, como visto na Figura 34.



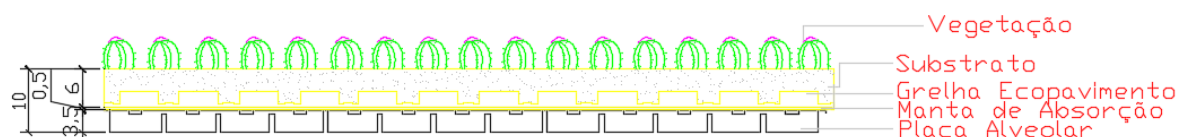
Fonte: Autora (2019)

5.2.2. Vegetação Utilizada

Devendo a escolha da vegetação condizer com as vegetações nativas e garantir sua fácil adaptação à altas temperaturas e períodos de escassez hídrica, e em conformidade com o que foi estudado, nesta pesquisa, optou-se pela Coroa-de-Frade (em latim *Melocactus Zehntneri*) e pela Babosa (em latim *Aloe Arborescens*). Esquemas demonstrados na Figura 35 e 36, respectivamente, ambas foram simuladas através do software.

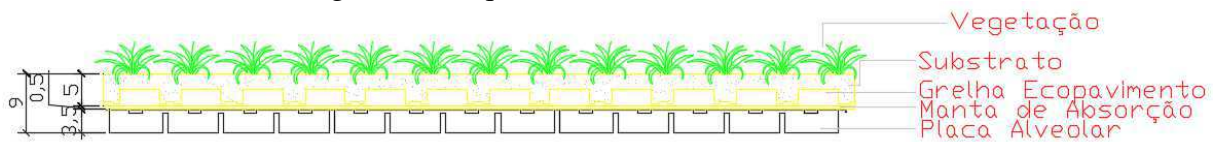
O esquema de montagem da estrutura do telhado foi baseado em um dos módulos do catálogo da Ecotelhado®, empresa de soluções verdes, no módulo de telhado verde alveolar grelhado (ideal para coberturas inclinadas em até 30%), encontrado no site da empresa.

Figura 35- Esquema telhado verde com Coroa-de-Frade



Fonte: Autor adaptado de Ecotelhado® (2019)

Figura 36- Esquema telhado verde com Babosa



Fonte: Autor adaptado de Ecotelhado® (2019)

Detalhando as camadas teremos:

- a) Placa Alveolar: Utilizado para evitar o contato direto da vegetação com a superfície, retendo água para raízes da vegetação. Sendo placas de espessura de 1400 micras nas dimensões de 140 x 115 x 3,5 cm. ($A = 1,61\text{m}^2$) e com retenção de água: 35 l/m² (ECOTELHADO, 21--).
- b) Manta de Absorção: Além de reter água também consegue reservar parcela de nutrientes para suprir parcialmente as raízes. A manta possui espessura de 5 mm (ECOTELHADO, 21--).
- c) Grelha de Pavimento Natural Ecotelhado®: Suporta e retém o substrato nutritivo, evitando o amassamento das raízes (ECOTELHADO, 21--).
- d) Substrato: Para composição do substrato, optou-se por um composto de terra vegetal (definida como a mistura de terra *in natura* com restos de plantas decompostos, como folhas, caules, cascas e xaxim) será utilizado em ambos os casos, pequena variação na altura final, conforme o visualizado na figura 35 e 36.

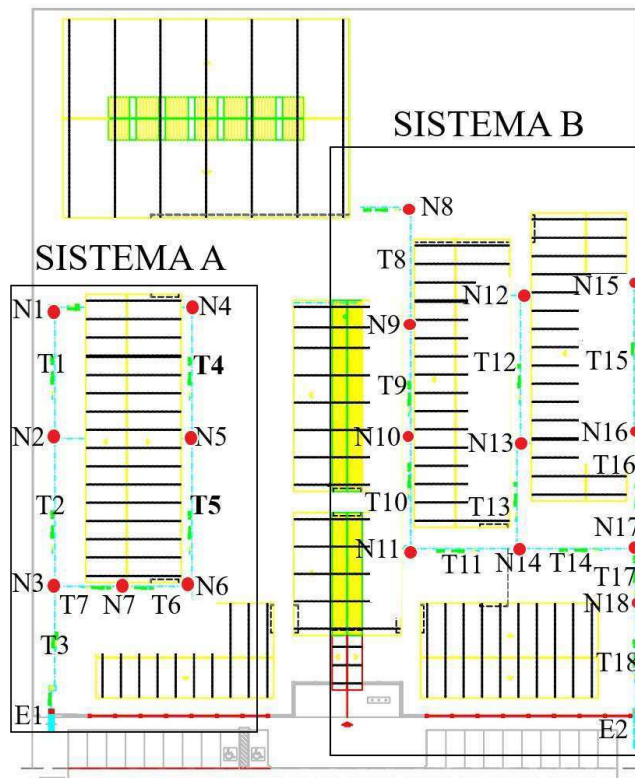
5.2.3. STORM WATER MANAGEMENT MODEL (SWMM)

Para os cálculos efetuados no SWMM, algumas predefinições tiveram de ser acertadas na modelagem do sistema para inserção do software; tais como, as caracterizações dos nós (cotas de entrada e saída), dos trechos (comprimentos, diâmetros, declividade e profundidade máxima) e das bacias (área total e nó de saída). Os valores foram definidos através do projeto hidráulico, do modelo base da edificação, fornecido pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE).

Para se adequar aos exultórios presentes no projeto, e garantir melhor compreensão, o esquema foi dividido em dois sistemas. A Figura 37 contém o modelo utilizado e nos Quadros 6, 7 e 8 constam os valores associados. Como o projeto fornece uma estrutura generalizada para a edificação e por falta de dados precisos sobre as altitudes no local, atribui-se o valor zero de cota do nó mais elevado do sistema, os demais são determinados pela subtração do

comprimento da tubulação de ligação vezes a sua declividade da cota do nó anterior, na leitura no sentido do fluxo.

Figura 37- Modelo inserido no SWMM



Fonte: Autora (2019)

Legenda:

Nós (Caixas de passagem e inspeção): N1 à N18;

Trechos (Conduitos forçados): T1 à T18;

Exultório: E1 e E2;

Quadro 6- Valores referentes ao sistema A

Trecho	Comprimento (m)	Diâmetro (m)	Declividade (%)	Nó	Cota entrada (m)
1	16,66	0,2	0,50%	N1	0
2	18,88	0,25	0,50%	N2	-0,2833
3	12,78	0,3	0,50%	N3	-0,6277
4	16,48	0,2	0,50%	N4	0,65995
5	18,49	0,25	0,50%	N5	0,37755
6	8,14	0,25	1,00%	N6	0,0351
7	8,14	0,25	1,00%	N7	-0,2963
				E1	-0,6602

Fonte: Autora (2019)

Quadro 7- Valores referentes ao sistema B

Trecho	Comprimento (m)	Diâmetro (m)	Declividade (%)	Nó	Cota entrada (m)
8	14,78	0,2	0,50%	N8	0
9	13,93	0,2	0,50%	N9	-0,2739
10	13,93	0,25	0,50%	N10	-0,54355
11	13,57	0,3	0,50%	N11	-0,8632
12	18,7	0,15	1,00%	N12	-0,61325
13	13,08	0,15	1,00%	N13	-0,95025
14	14,44	0,3	0,50%	N14	-1,23105
15	18,7	0,1	1,00%	N15	-1,01905
16	14,72	0,15	1,00%	N16	-1,30605
17	6,3	0,3	0,50%	N17	-1,60325
18	13,57	0,3	0,50%	N18	-1,93475
				E2	-2,3026

Fonte: Autora (2019)

Quadro 8- Valores inseridos no SWMM para caracterização das bacias do sistema

Bacia	Área (ha)	Nó de saída
1	0,0203	N1
2	0,0271	N4
3	0,0203	N9
4	0,0271	N12
5	0,0203	N12
6	0,0271	N15

Fonte: Autora (2019)

Após a edição das propriedades de cada um dos elementos, roda-se a simulação e obtém-se os valores relativos a vazão (L/s) de saída em cada um dos exultórios, após cálculo da contribuição das bacias e das perdas de carga (através da equação de Hazen-Williams, adequado para condutos forçados) distribuídas na tubulação.

Como no item 3.6 da Revisão Bibliográfica, uma das possibilidades permitidas pelo sistema é a inserção de medidas de LID. No editor de controle da LID, há a possibilidade de o usuário inserir o nome particular desejado e escolher, dentre as possibilidades fornecidas pelo modelo, a medida de controle. Optando-se pela opção de telhado verde (green roof), foi necessário definir os itens descritos abaixo:

- a) Profundidade de Armazenamento (Berm Height): Parâmetro relativo a lâmina (mm) acumulável antes de se converter em escoamento. Estabelecido pelo módulo alveolar grelhado, considerou-se uma profundidade de 40 mm.

- b) Fração de Cobertura Vegetal (Vegetation Volume Fraction): Parcela da vegetação superficial, ocupada por hastes e folhas. Segundo recomendação do SWMM, optou-se por 0,1, que configura-se como o valor mínimo a ser inserido, pensando que coroa de frade e babosa não possuem folhas e galhos.
- c) Rugosidade Superficial (Surface Roughness): Coeficiente de rugosidade de Manning (n), tabela de valores, fornecido pelo programa, estabelece o valor de 0.15 para situação simulada.
- d) Declividade de Superfície (Surface Slope): Relativo Declividade da superfície, supondo a aplicação direta sobre o telhado, foi considerado um valor de 30%.
- e) Espessura (Thickness): Compreendido como a espessura da camada de solo, conforme predefinido no modelo esse valor é correspondente a 75 mm.
- f) Porosidade (Porosity): Fração do volume de poros relativo ao total de solo, segundo o manual do programa a porosidade da terra vegetal é equivalente à 0.437.
- g) Capacidade de Campo (Field Capacity): Razão entre o volume de água no solo e o volume total, após o solo ser capaz de drenar plenamente, considerado de 0.105, conforme o manual do programa.
- h) Ponto de Murcha (Wilting Point): Fração de volume em um solo bem seco, valor de 0.047 fornecido pelo programa.
- i) Condutividade Hidráulica (Conductivity): Condutividade do solo completamente saturado (mm/h), valor de 1.18 fornecido pelo programa.
- j) Declividade da Condutividade Hidráulica (Conductivity Slope): Inclinação logarítmica da curva de condutividade versus a composição do solo. Valor estimado através da relação $0.48*(\% \text{Areia}) + 0.85*(\% \text{Argila})$, fornecida pelo manual do SWMM, obtendo assim o valor relativo a 57.25.
- k) Potencial Matricial (Suction Head): Valor relativo a capilaridade solo, fornecido pelo modelo como sendo de 2.40.
- l) Altura da camada drenante (Thickness): A espessura fornecida pelo modulo alveolar da camada drenante é de 25 mm, pelo catálogo do Ecotelhado®.
- m) Índice de Vazios (Void Fraction): Fração de volume de vazios por volume de sólidos da camada, usado como 0.5 segundo recomendações do manual do SWMM.

Ao adicionar o LID sobre as sub-bacias, executa-se a simulação e observa-se a variação da vazão (L/s) de saída no exultório.

5.2.4. JARDIM 1.1.

Trata-se de um software gratuito, de livre uso, desenvolvido pelo professor Maurício Roriz, da Universidade Federal de São Carlos. Segundo Roriz (2003) o software é adequado para contribuir na avaliação do comportamento térmico de coberturas verdes, calculando a taxa de evaporação através da clássica equação de Penman-Monteith, que permite estimas as temperaturas superficiais da vegetação.

O Jardim 1.1 lê arquivos de texto (*.txt), que contenham 28 linhas, que devem conter (RORIZ, 2003):

Linha 1: Nome das variáveis (Latitude, Altitude, Mês, Dia, Hven, Hveg, Albedo);

Linha 2: Valores das variáveis indicados na linha 1 (separados por vírgula);

Linha 3: Nome das variáveis (Hora, Radiação, TbsExt, UmiRel, Vento);

Linha 4: Unidade das variáveis indicados na linha 3 - (solar), (W/m²), (C), (%), (m/s); e

Linha 5 a 28: Valores das variáveis indicados na linha 3 (separados por vírgula).

Com exceção dos dados da altura da vegetação e o albedo, os demais foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), em suas normais climatológicas e dados observacionais da estação meteorológica de Campina Grande, correspondendo ao mês de fevereiro de 2019. A escolha do mês foi selecionada por ele apresentar a maior radiação solar acumulada mensal e insolação total mensal, já que os meses com os maiores valores foram janeiro e fevereiro, optou-se por fevereiro por ser mais próximo ao início do ano escolar.

A altura da vegetação foi estipulada em uma máxima de 15 cm, conforme Coroa-de-frade... (2016) e Prato (2015), definiram como alturas típicas à ambas vegetações. O albedo foi estipulado de forma generalizado como o próprio da vegetação da caatinga, valor aferido segundo estudo de Lima et. al (2009). Construindo, portanto, a tabela de inserção no software (Quadro 9), que através do cálculo realizado, da equação de Penman-Monteith, obtém-se os valores relativos à temperatura sobre a laje de concreto sem a cobertura verde e a temperatura sobre a vegetação, após a instalação.

Quadro 9- Dados inseridos no programa

Latitude, Altitude, Mês, Dia, Hven, Hveg, Albedo

-7.3, 551, Fev, 1, 10, 0.15, 0.166

Hora, Radiação, TbsExt, UmiRel, Vento

(solar), (W/m2), (C), (%), (m/s)

0, -0.841666667, 23.9, 84, 5.0

1, -0.697222222, 23.6, 85, 4.5

2, -0.822222222, 23.1, 86, 3.6

3, -0.719444444, 22.7, 87, 2.3

4, -0.630555556, 22.5, 89, 2.0

5, -0.569444444, 22.2, 91, 1.7

6, -0.741666667, 22.1, 92, 1.3

7, -0.413888889, 22.5, 91, 1.7

8, -0.502777778, 22.4, 90, 1.7

9, 42.08333333, 22.9, 89, 2.8

10, 140.5833333, 23.4, 85, 3.3

11, 263.7222222, 25.1, 75, 3.0

12, 486.9444444, 27.8, 65, 3.3

13, 795, 28.7, 57, 3.7

14, 841.1111111, 29.9, 50, 4.2

15, 713.8888889, 29.2, 48, 3.4

16, 779.7222222, 31.0, 44, 3.1

17, 650, 31.2, 46, 3.2

18, 578.0555556, 32.0, 42, 4.3

19, 488.6111111, 30.5, 49, 4.6

20, 192.9444444, 28.5, 59, 4.9

21, 8.069444444, 26.6, 67, 5.6

22, -0.983333333, 25.4, 70, 4.8

23, -0.983333333, 24.3, 76, 4.8

Fonte: Autora (2019)

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA

6.1.1. Área de contribuição

Através das fórmulas expostas no item 5.1.2 da Metodologia, calcula-se a área de contribuição total (Quadro 10).

Quadro 10- Cálculo área de contribuição

Seção	Variáveis			Área (m ²)
	a	h	b	
A1	13,1	3,6	37,64	560,836
A2	13,1	3,6	37,64	560,836
A3	2	0,78	25,64	61,2796
A4	2	0,78	25,64	61,2796
Projeção	2,8	0,55	25,64	78,843
Fechamento lateral	2,1	0	37,64	79,044
Área Total (m ²)	1323,4762			

Fonte: Autora (2019)

6.1.2. Cálculo da demanda

Conforme o retratado acima, a água recolhida seria utilizada para rega do telhado verde e limpeza da quadra poliesportiva, para tanto o cálculo está representado na Quadro 11.

Quadro 11- Cálculo volume demandado

Utilização	Área (m ²)	Dias por mês	Consumo (L/m ² /dia)	Volume (L)
Rega dos telhados	1422	4	1,5	8532
Limpeza quadra poliesportiva	891,63	4	2	7133,04
Volume Demandado (m ³)	15,7			

Fonte: Autora (2019)

6.1.3. Coeficiente de Runoff

Conforme o exposto na Tabela 3, tem-se que o coeficiente de runoff para telhas corrugadas de metal é equivalente a 0,85.

6.1.4. Dimensionamento Reservatório

6.1.4.1. Método de Rippl

Conforme o exposto no item 3.4.2.5 da Revisão Bibliográfica, para o dimensionamento através deste método, é necessário a obtenção das variáveis: a precipitação da chuva no tempo t, o coeficiente de run off, a área de captação e a demanda no tempo. Chegando-se no resultado através do Quadro 12, que é explicitada logo em seguida.

Quadro 12- Método de Rippl

Coeficiente de runoff		0,85					
Meses	Chuva média mensal	Demanda mensal	Área de captação	Volume de chuva mensal	Diferença entre o volume da demanda e volume de chuva	Diferença acumulada da coluna 6 dos valores positivos	Situação do reservatório
	(mm)	(m³)	(m²)	(m³)	(m³)	(m³)	
Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5	Coluna 6	Coluna 7	Coluna 8
Janeiro	45,6	15,7	1323,48	51	-36	0	E
Fevereiro	62,8	15,7	1323,48	71	-55	0	E
Março	107,1	15,7	1323,48	120	-105	0	E
Abril	89,3	15,7	1323,48	100	-85	0	E
Maió	101,7	15,7	1323,48	114	-99	0	E
Junho	123,6	15,7	1323,48	139	-123	0	E
Julho	96,7	15,7	1323,48	109	-93	0	E
Agosto	80,1	15,7	1323,48	90	-74	0	E
Setembro	30,0	15,7	1323,48	34	-18	0	E
Outubro	12,5	15,7	1323,48	14	2	2	D
Novembro	12,3	15,7	1323,48	14	2	4	D
Dezembro	15,3	15,7	1323,48	17	-2	2	S
Total	777,0	188,4		874	Volume=	4 m³	

Fonte: Autora (2019)

Descrição do Quadro 6:

Coluna 1: Período em meses, compreendido entre janeiro e dezembro;

Coluna 2: Chuvas médias mensais em mm;

Coluna 3: Demanda conforme as necessidades e utilizações;

Coluna 4: Área de captação, mantida constante ao longo do ano;

Coluna 5: Compreende os volumes mensais disponíveis de água, obtido através da multiplicação da precipitação com a área de captação e o coeficiente de run off;

Coluna 6: Diferença entre os volumes demandados e os obtidos através da precipitação, o sinal negativo indica excesso de água e o positivo representa que o volume captado mensal não consegue atender a demanda;

Coluna 7: Diferença acumuladas positivas, uma vez que os valores negativos compreendem meses com excesso de água. O volume máximo obtido foi de 4m³ (4000L);

Coluna 8: Segue a seguinte simbologia

E = água escoando pelo extravasor;

D= nível de água baixando; e

S= nível de água subindo;

6.1.4.2.Método das simulações

Como o nome sugere, são realizadas simulações com valores pré-definidos de reservatório. Levanta -se o valor do consumo médio mensal e do volume definido pelo método

de Rippl e testa-se com as duas situações (incluindo um teste com um valor inferior ao registrado por Rippl). Simulações registradas nas Quadros 13 a 15.

1º Teste: Volume de Reservatório sendo o consumo médio

Quadro 13- Simulação relativa ao teste 1

Coeficiente de runoff (CR) =		0,85							
Volume do reservatório (m³) =		15,7							
Meses	Chuva média mensal	Demanda mensal	Área de captação	Volume de chuva mensal	Volume do reservatório fixado	Volume do reservatório no tempo (t-1)	Volume do reservatório no tempo (t)	Overflow	Suprimento de água externo
	(mm)	(m³)	(m²)	(m³)	(m³)	(m³)	(m³)	(m³)	(m³)
Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5	Coluna 6	Coluna 7	Coluna 8	Coluna 9	Coluna 10
Janeiro	45,6	15,7	1323,48	51	15,7	0,0	15,7	19,9	0
Fevereiro	62,8	15,7	1323,48	71	15,7	15,7	15,7	54,9	0
Março	107,1	15,7	1323,48	120	15,7	15,7	15,7	104,8	0
Abril	89,3	15,7	1323,48	100	15,7	15,7	15,7	84,8	0
Mai	101,7	15,7	1323,48	114	15,7	15,7	15,7	98,7	0
Junho	123,6	15,7	1323,48	139	15,7	15,7	15,7	123,3	0
Julho	96,7	15,7	1323,48	109	15,7	15,7	15,7	93,1	0
Agosto	80,1	15,7	1323,48	90	15,7	15,7	15,7	74,4	0
Setembro	30,0	15,7	1323,48	34	15,7	15,7	15,7	18,0	0
Outubro	12,5	15,7	1323,48	14	15,7	15,7	14,1	0,0	0
Novembro	12,3	15,7	1323,48	14	15,7	14,1	12,2	0,0	0
Dezembro	15,3	15,7	1323,48	17	15,7	12,2	13,7	0,0	0
Total	777	188,4		874				672,0	0

Fonte: Autora (2019)

2º Teste: Volume definido pelo método de Rippl

Quadro 14- Simulação relativa ao teste 2

Coeficiente de runoff (CR) =		0,85							
Volume do reservatório (m³) =		4							
Meses	Chuva média mensal	Demanda mensal	Área de captação	Volume de chuva mensal	Volume do reservatório fixado	Volume do reservatório no tempo (t-1)	Volume do reservatório no tempo (t)	Overflow	Suprimento de água externo
	(mm)	(m³)	(m²)	(m³)	(m³)	(m³)	(m³)	(m³)	(m³)
Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5	Coluna 6	Coluna 7	Coluna 8	Coluna 9	Coluna 10
Janeiro	45,6	15,7	1323,48	51	4	0,0	4,0	31,6	0
Fevereiro	62,8	15,7	1323,48	71	4	4,0	4,0	54,9	0
Março	107,1	15,7	1323,48	120	4	4,0	4,0	104,8	0
Abril	89,3	15,7	1323,48	100	4	4,0	4,0	84,8	0
Mai	101,7	15,7	1323,48	114	4	4,0	4,0	98,7	0
Junho	123,6	15,7	1323,48	139	4	4,0	4,0	123,3	0
Julho	96,7	15,7	1323,48	109	4	4,0	4,0	93,1	0
Agosto	80,1	15,7	1323,48	90	4	4,0	4,0	74,4	0
Setembro	30,0	15,7	1323,48	34	4	4,0	4,0	18,0	0
Outubro	12,5	15,7	1323,48	14	4	4,0	2,4	0,0	0
Novembro	12,3	15,7	1323,48	14	4	2,4	0,5	0,0	0
Dezembro	15,3	15,7	1323,48	17	4	0,5	2,0	0,0	0
Total	777	188,4		874				683,7	0

Fonte: Autora (2019)

3º Teste: Volume inferior ao definido pelo método de Rippl

Quadro 15- Simulação relativa ao teste 3

Coeficiente de runoff (CR) =		0,85							
Volume do reservatório (m³) =		3							
Meses	Chuva média mensal	Demanda mensal	Área de captação	Volume de chuva mensal	Volume do reservatório fixado	Volume do reservatório no tempo (t-1)	Volume do reservatório no tempo (t)	Overflow	Suprimento de água externo
	(mm)	(m³)	(m²)	(m³)	(m³)	(m³)	(m³)	(m³)	(m³)
Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5	Coluna 6	Coluna 7	Coluna 8	Coluna 9	Coluna 10
Janeiro	45,6	15,7	1323,48	51	3	0,0	3,0	32,6	0
Fevereiro	62,8	15,7	1323,48	71	3	3,0	3,0	54,9	0
Março	107,1	15,7	1323,48	120	3	3,0	3,0	104,8	0
Abril	89,3	15,7	1323,48	100	3	3,0	3,0	84,8	0
Mai	101,7	15,7	1323,48	114	3	3,0	3,0	98,7	0
Junho	123,6	15,7	1323,48	139	3	3,0	3,0	123,3	0
Julho	96,7	15,7	1323,48	109	3	3,0	3,0	93,1	0
Agosto	80,1	15,7	1323,48	90	3	3,0	3,0	74,4	0
Setembro	30,0	15,7	1323,48	34	3	3,0	3,0	18,0	0
Outubro	12,5	15,7	1323,48	14	3	3,0	1,4	0,0	0
Novembro	12,3	15,7	1323,48	14	3	1,4	-0,5	0,0	0,501122
Dezembro	15,3	15,7	1323,48	17	3	0,0	1,5	0,0	0
Total	777	188,4		874				684,7	0,50112

Fonte: Autora (2019)

Descrição dos quadros 7 ao 9:

Coluna 1: Período em meses, compreendido entre janeiro e dezembro;

Coluna 2: Chuvas médias mensais em mm;

Coluna 3: Demanda conforme as necessidades e utilizações;

Coluna 4: Área de captação, mantida constante ao longo do ano;

Coluna 5: Compreende os volumes mensais disponíveis de água, obtido através da multiplicação da precipitação com a área de captação e o coeficiente de run off;

Coluna 6: Volume arbitrado para escolha;

Coluna 7: Volume do reservatório na origem da contagem do tempo;

Coluna 8: Volume do reservatório ao final do mês, seguindo a fórmula Coluna 8 = SE (coluna5 + coluna7 – coluna3 > coluna 6; coluna 7: coluna 5 + coluna 7 – coluna 3);

Coluna 9: Referente ao overflow; ou seja, água jogada fora;

Coluna 10: Coluna da quantidade de água necessária de ser repostada de uma rede de abastecimento;

Portanto analisando criteriosamente os testes, pode-se observar que o menor overflow é obtido no maior reservatório (teste 1). Muito embora, de forma equivalente, representaria um reservatório muito mais oneroso. No caso a situação 3 foi descartada por necessitar de suprimento de água externo. Portanto, optou-se pela opção 2, como o volume mais adequado tendo em vista a situação, com o reservatório de 4 mil litros.

6.1.4.3. Avaliação socioeconômica

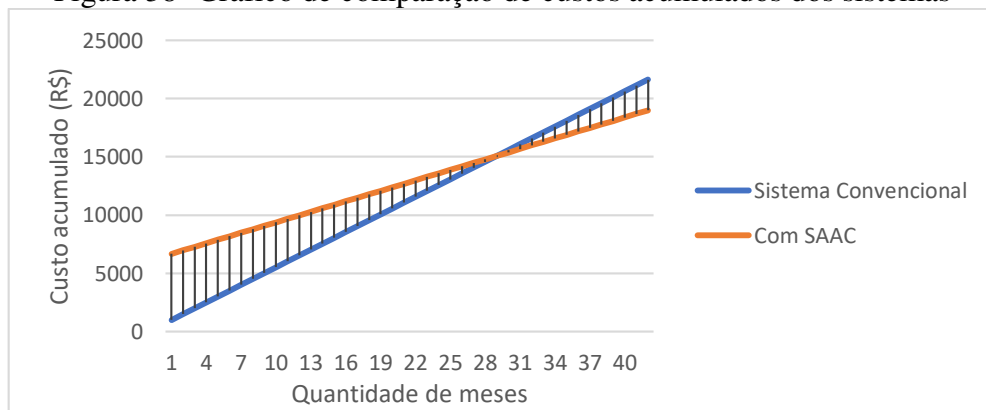
Como o presente trabalho não objetiva o dimensionamento de toda rede de esgotamento pluvial (calhas e tubos de queda), o valor final do sistema é estipulado como o valor do próprio reservatório.

Conforme a estrutura tarifária, definida na resolução de diretoria da ARPB N°002/2018-DP, estipulada pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA), o valor da tarifa é de 12,89 R\$/m³. O valor relativo a consumo superior à 10 m³ e intrínseco de uma edificação pública, poderá chegar a um valor mensal médio de R\$500 reais na conta de água. Sabendo que o reservatório do SAAC é capaz de suprir uma demanda de até 15,7 m³, a conta poderá ser reduzida a R\$300,00 reais.

Analisando os custos das duas propostas apresentadas na Metodologia 5.1.4., optou-se pela Cisterna Vertical Modular, da Tecnotri, por ser mais barato o produto (R\$ 6378,00 por quatro modelos da Tecnotri e R\$6490,00 modelo da Acqualimp) e não necessitar de elevados custos para instalação, além de possuir um design moderno que agregaria valor funcional e estético a edificação da escola. Como também estaria às vistas dos estudantes, fomentando nos mesmos o interesse pelo consumo consciente e sustentável e lhes oportunizando aprendizagem sobre responsabilidade ecológica e social. É importante frisar que a edificação dispõe de local adequado para instalação das cisternas.

Assumindo um custo de R\$6500 reais para o reservatório (incluindo a instalação), compondo uma tabela com os custos acumulados, observa-se que a partir de 29 meses o SAAC apresentaria uma vantagem econômica em relação ao sistema convencional (Figura 38), garantindo sua a viabilidade econômica.

Figura 38- Gráfico de comparação de custos acumulados dos sistemas



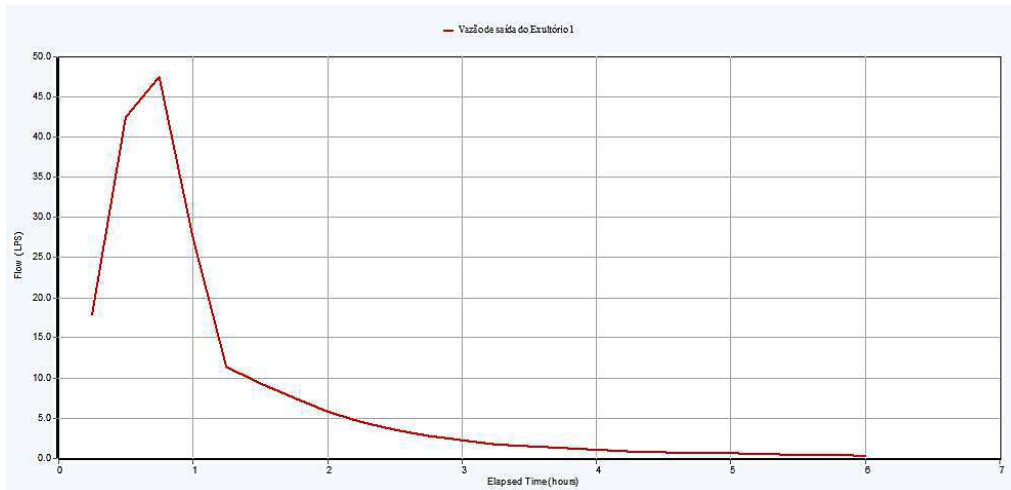
Fonte: Autora (2019)

6.2.TELHADO VERDE

6.2.1. Redução do volume escoado

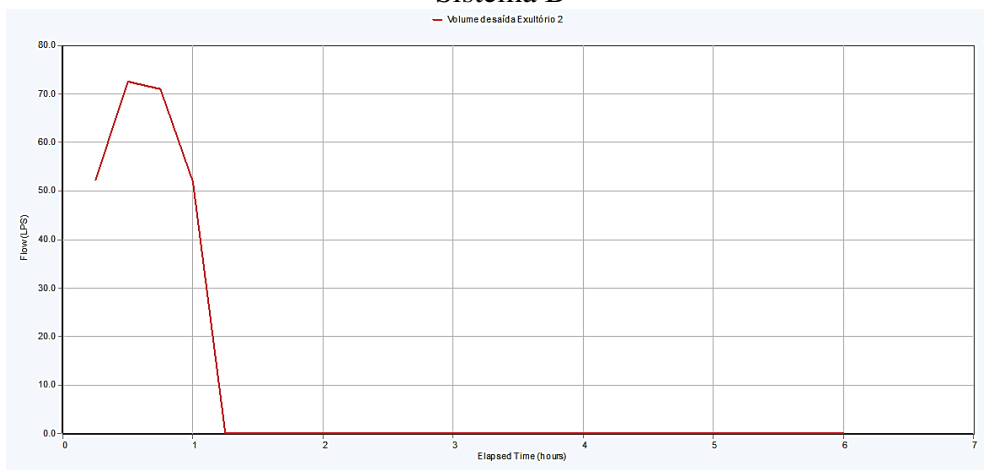
Conforme o modelo de avaliação proposto na Metodologia 5.2.3., os valores da vazão (litros por segundo) no tempo decorrido da situação inicial (sem intervenção do telhado verde), da chuva de projeto, obtidos através da simulação do SWMM estão representados nas Figuras 39 e 40 e descritas nos quadros 16 e 17:

Figura 39- Gráfico da vazão (litros por segundo) em y pelo tempo decorrido (horas) em x:
Sistema A



Fonte: Autora (2019)

Figura 40- Gráfico da vazão (litros por segundo) em y pelo tempo decorrido (horas) em x:
Sistema B



Fonte: Autora (2019)

Quadro 16- Vazão (litros por segundo) pelo tempo decorrido: Sistema A

Tempo Decorrido	00:15:00	00:30:00	00:45:00	01:00:00	01:15:00	01:30:00	01:45:00	02:00:00	02:15:00	02:30:00	02:45:00	03:00:00
Vazão (L/s)	17,94	42,5	47,52	27,55	11,37	9,39	7,48	5,84	4,52	3,51	2,77	2,22
Tempo Decorrido	03:15:00	03:30:00	03:45:00	04:00:00	04:15:00	04:30:00	04:45:00	05:00:00	05:15:00	05:30:00	05:45:00	06:00:00
Vazão (L/s)	1,77	1,48	1,25	1,07	0,91	0,79	0,69	0,6	0,52	0,46	0,41	0,36

Fonte: Autora (2019)

Quadro 17- Vazão (litros por segundo) pelo tempo decorrido: Sistema B

Tempo Decorrido	00:15:00	00:30:00	00:45:00	01:00:00	01:15:00
Vazão (L/s)	52,19	72,56	71,03	51,72	0,06

Fonte: Autora (2019)

De forma análoga, foi executado a simulação com o telhado verde recobrindo toda área de cobertura sobre as salas de aula, como demonstrado no item 5.2.1 da Metodologia. Os resultados da relação com a vazão (litros por segundo) pelo tempo decorrido (em horas), para ambos os sistemas estão representadas nos Quadros 18 e 19.

Quadro 18- Vazão (litros por segundo) pelo tempo decorrido: Sistema A com Telhado Verde

Tempo Decorrido	00:15:00	18:43:48	18:58:48	19:13:48	19:28:48	19:43:48	19:58:48	20:13:48	20:28:48	20:43:48	20:58:48	21:13:48
Vazão (L/s)	8,27	39,48	43,13	27,32	10,37	8,42	5,81	4,47	3,44	2,69	2,15	1,72
Tempo Decorrido	21:28:48	21:43:48	21:58:48	22:13:48	22:28:48	22:43:48	22:58:48	23:13:48	23:28:48	23:43:48	23:58:48	00:13:48
Vazão (L/s)	1,44	1,22	1,04	0,89	0,77	0,67	0,59	0,51	0,47	0,39	0,37	0,34

Fonte: Autora (2019)

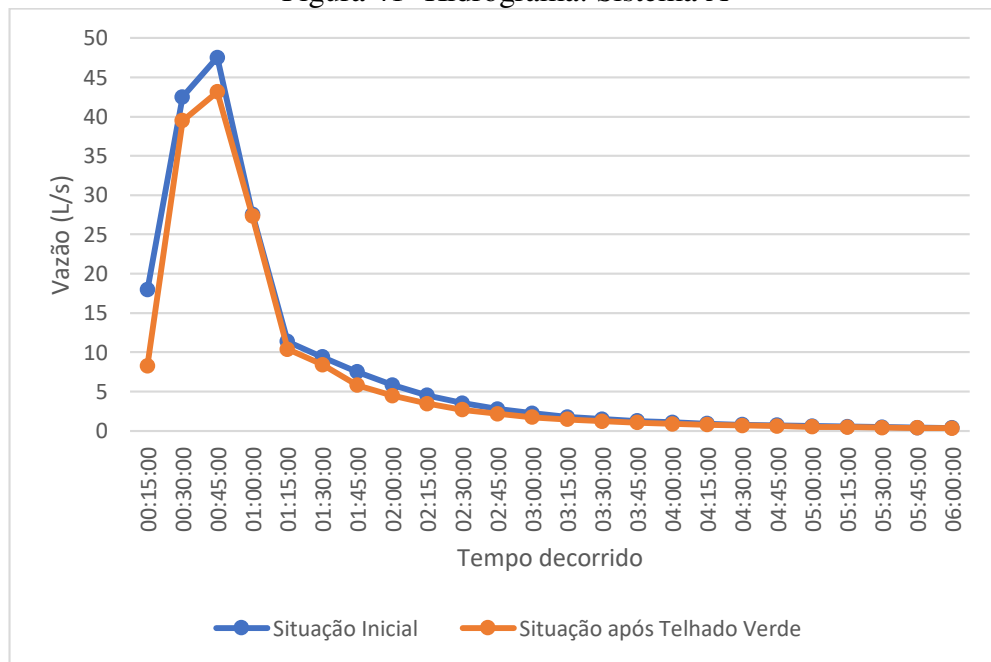
Quadro 19- Vazão (litros por segundo) pelo tempo decorrido: Sistema B com Telhado Verde

Tempo Decorrido	00:15:00	00:30:00	00:45:00	01:00:00	01:15:00
Vazão (L/s)	39,37	70,1	67,86	48,68	0,02

Fonte: Autora (2019)

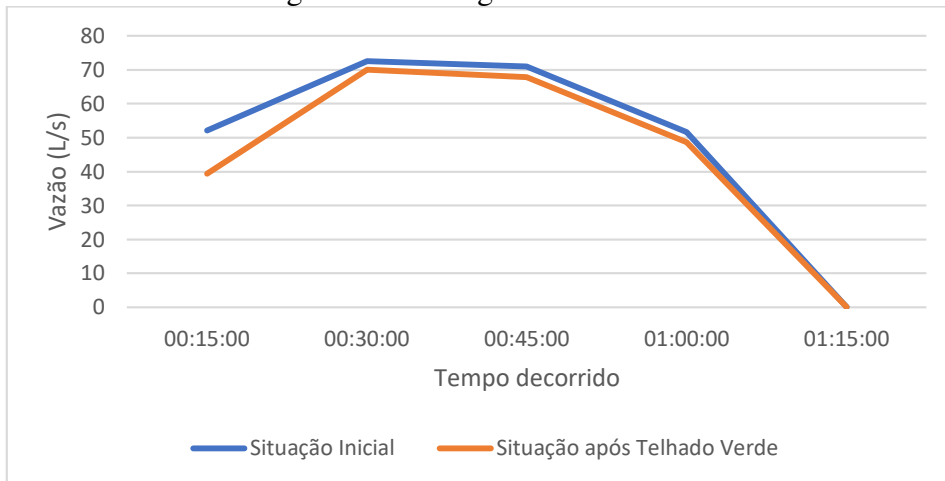
Compatibilizando ambos resultados, construiu-se um hidrograma, para cada sistema, com o objetivo de avaliar o impacto da aplicação do telhado na vazão final de saída do sistema. Obtendo assim os gráficos contidos nas Figura 41 e 42.

Figura 41- Hidrograma: Sistema A



Fonte: Autora (2019)

Figura 42- Hidrograma: Sistema B



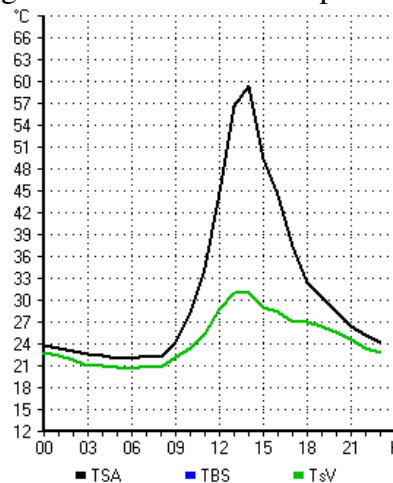
Fonte: Autora (2019)

Para tanto, é possível observar que a aplicação do telhado verde tem uma influência considerável nos primeiros momentos, produzindo certa redução da vazão. Muito embora, o telhado possui uma lâmina máxima de armazenamento e após ser superada (solo totalmente saturado) os padrões iniciais de escoamento voltam a se estabelecer e igualar as vazões registradas na situação convencional. Mesmo assim, é possível afirmar que o telhado produz alterações positivas na etapa de redução do volume escoado, chegando a reduzir em 23% o volume final escoado e em 15% o pico máximo de vazão.

6.2.2. Redução da temperatura

Aplicando a tabela de parâmetros demonstrada em Metodologia 5.2.4. no Jardim 1.1, resulta o Gráfico de Temperaturas (Figura 43), que será analisado em sequência.

Figura 43- Gráfico de Temperaturas



Fonte: Autora (2019)

No qual,

TSA: Temperatura sol-ar laje comum;

TsV: Temperatura superficial vegetação;

Nesse contexto, observa-se uma discrepância exacerbada no valor registrado na relação da temperatura do sol-ar na laje comum e o que seria registrado na superfície da vegetação. Outra variação passível de observação é a redução da amplitude térmica em casa situação. Comprovando a efetividade da cobertura verde na redução da temperatura da edificação a qual ela está sendo implantada, conseqüentemente promovendo maior conforto térmico para o ambiente e conforme o descrito na Metodologia 5.2.1., favorecendo o aprendizado dos infantes.

6.2.3. Avaliação econômica

Conforme informado pelo próprio sistema do Ecotelhado®, através de seu atendimento ao consumidor, o valor relativo ao módulo e instalação para o modulo alveolar grelhado é de R\$ 129,79 por metro quadrado. Através da pesquisa de mercado obtive-se um valor de R\$ 18,49 para um saco de terra vegetal adubada capaz de compactar 0,027 m³, para 5 cm de substrato o rendimento do saco transforma-se em 0,54 m². Ainda de resultado da pesquisa, o valor médio para mudas de babosa e coroa-de-frade é de R\$20,00/unidade, sabendo que a taxa de ocupação é de 4 unid/m². Totalizando preços no Quadro 20 demonstrada abaixo:

Quadro 20- Custo total de montagem do telhado verde

Insumo	Preço (R\$)	Razão	Área (m ²)	Preço Relativo (R\$)
Modulo Alveolar Grelhado	129,79	unid/m ²	1422	184561,38
Terra Vegetal	18,49	1,85 saco/m ²	1422	48641,64
Vegetação	20	4 unid/m ²	1422	113760,00
PREÇO TOTAL:				346963,02

Fonte: Autora (2019)

Totalizando um valor final de R\$346.963,02 para o sistema, dispensando os custos relativos à sua instalação e manutenção. Conforme a planilha orçamentária, fornecida pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação, o custo aproximado para a edificação completa se aproximaria à R\$5.488.220,20. Desta forma, o custo para instalação do telhado verde equivale a 6,3% do custo total da obra.

7. CONCLUSÃO E SUGESTÕES FUTURAS

A proposta de aplicação das técnicas de desenvolvimento de baixo impacto em uma escola de educação infantil e ensino fundamental, compõe os objetivos de promoção de melhoria da proficiência escolar (ambiente adequado que possibilita a aprendizagem dos estudantes) e do ensino ambiental na educação básica, ultrapassando a definição de um simples projeto de engenharia. Esse estudo incentiva o engenheiro a pensar as especificidades das necessidades de seus clientes; como também, a compreender que um projeto de engenharia não se baseia apenas em modelos a serem copiados e sim na garantia plena da função da edificação e do seu valor social. O projeto permitiu o aprendizado de novas ferramentas, reforço dos conteúdos vistos ao longo da graduação, além da aquisição de novos conhecimentos.

De fato, as simulações foram ferramentas imprescindíveis para a obtenção dos resultados relativos à análise da cobertura verde, tanto pelo modelo hidrológico SWMM como pelo programa JARDIM 1.1. O primeiro modelo para avaliação da redução de volume escoado e o segundo modelo na verificação da redução de temperatura. Diante os resultados obtidos, observa-se que, de fato, o telhado verde possui resultados positivos na redução do volume escoado, atingindo uma redução de 23%, demonstrando ser uma possibilidade de medida mitigadora de enchentes e inundações.

O telhado verde também se mostrou capaz de promover a diminuição pela metade na temperatura sol-ar laje em relação a temperatura sobre a vegetação, que conseqüentemente reduz as temperaturas, e suas variações, no interior da edificação (de forma específica, as salas de aula). A vantagem não se baseia de forma exclusiva na redução do consumo energético, de ventiladores ou ar-condicionado; mas sobretudo, na promoção da melhoria da concentração e aprendizado de crianças e adolescentes, garantindo-lhes a efetivação do direito a educação pública num espaço de qualidade ambiental. Dentre as vantagens apresentadas considera-se que o valor custo-benefício, em relação ao total da edificação, é viável e que a cobertura vegetal se apresentou como uma técnica adequada a edificação.

O uso da série de precipitações médias mensais de 1981 a 2010 fornecidas pelo INMET, as demandas optadas para atendimento do sistema, áreas de captação do projeto básico das escolas e área possível para instalação em conjunto com simulações de diversos cenários, resultaram em um reservatório com capacidade de 4000 litros, atendendo a demanda de projeto para o SAAC em 100% do tempo.

Na análise do aproveitamento de água de chuva na edificação em estudo, observa-se a possibilidade de se reduzir o consumo da água fornecida pelo sistema de abastecimento de água público, poupando o recurso e reduzindo os custos da edificação. Sabendo que em 29 meses o valor do sistema convencional é superado pelo o de aproveitamento de água de chuva. Assim, concluímos que o SAAC também se caracteriza como uma técnica adequada para edificação em estudo.

Como sugestões para trabalhos futuros podem ser realizados:

- Implantação de outras técnicas LID's;
- Projeto completo do sistema de aproveitamento de água de chuva, com toda tubulação e demais elementos, para completa determinação do custo de implantação; e
- Construção de um modelo físico de um telhado verde, para testes empíricos da viabilidade de aplicação.

REFERÊNCIAS

ACQUALIMP BRASIL. **Cisterna Acqualimp**. Belo Horizonte: [s. n.], Fevereiro 2016. Disponível em: <https://www.acqualimp.com/produto/cisterna-acqualimp/>. Acesso em: 1 ago. 2019.

AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DOS ESTADOS UNIDOS (EPA), 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INCORPORADORAS IMOBILIÁRIAS - ABRAINCO. **Produto 2 - Relatório Técnico Final, 2ª Versão, Análise das Necessidades Habitacionais e suas Tendências para os Próximos Dez Anos**. Belo Horizonte, 17 out. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10844: Instalações prediais de águas pluviais**. Rio de Janeiro. 1989.

_____. **NBR 15527: Água de chuva: Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis**. Rio de Janeiro. 2019.

ALMEIDA, Amanda L. F.; SILVA, Caio C. C.; SOUZA, Francisca R. C.i C. A CONSTRUÇÃO DO COMPLEXO ALUÍZIO CAMPOS EM CAMPINA GRANDE-PB: A LÓGICA DA CIDADE COMO MERCADORIA NA PRODUÇÃO DO ESPAÇO PÚBLICO. *In: II CONGRESSO INTERNACIONAL DA DIVERSIDADE DO SEMIÁRIDO*, 2017, Campina Grande. **Anais [...]**. Campina Grande: [s. n.], 2018. Disponível em: http://www.editorarealize.com.br/revistas/conidis/trabalhos/TRABALHO_EV074_MD1_SA1_2_ID1188_02102017134326.pdf. Acesso em: 24 abr. 2019.

BRASIL. ANA, Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos Recursos Hídricos: informe 2012**. Edição especial, Brasília, p. 215, 2012.

_____. **Conjuntura dos Recursos Hídricos: informe 2015**, Brasília, p. 88, 2015.

_____. **Conjuntura dos Recursos Hídricos 2017: relatório pleno**, Brasília, p. 169, 2017.

_____. **GEO Brasil Recursos Hídricos: Resumo Executivo**, Brasília, p. 60, 2007.

_____. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.

CARDOSO, A. e ARAGÃO, T. A. (2011). “A reestruturação do setor imobiliário e o Programa Minha Casa Minha Vida”. *In: MENDONÇA, J. G. e COSTA, H. S. de M. (orgs.)*. Estado e capital imobiliário: convergências atuais na produção do espaço urbano brasileiro. Belo Horizonte, C/ Arte.

CARMO, Wagner José Elias; MARCHI, Luciana Favalessa De. Uma visão holística do plano diretor de drenagem urbana. **Revista Jus Navigandi**, ISSN 1518-4862, Teresina, ano 18, n. 3796, 22 nov. 2013. Disponível em: <<https://jus.com.br/artigos/25944>>. Acesso em: 10 maio 2019.

CARVALHO, Aline; STEPHAN, Ítalo. **Eficácia social do Programa Minha Casa Minha Vida: discussão conceitual e reflexões a partir de um caso empírico***. Caderno Métopole,

Brasil, 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cm/v18n35/2236-9996-cm-18-35-0283.pdf>. Acesso em: 5 maio 2019.

COHIM, Eduardo; GARCIA, Ana; KIPERSTOK, Asher. *In: IX SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE*, 2008, Salvador. **CAPTAÇÃO E APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA: dimensionamento de reservatórios [...]**.2008. Disponível em: https://teclim.ufba.br/site/material_online/publicacoes/pub_art74.pdf. Acesso em: 13 maio 2019.

COMPONENTES básicos de um sistema de aproveitamento de água pluvial. [S. l.], 21--. Disponível em: <https://sites.google.com/a/dmaria.pt/rainwater-drops/componentes-basicos-de-um-sistema-de-aproveitamento-de-agua-pluvial>. Acesso em: 13 maio 2019.

COROA-DE-FRADE é cacto com formato de globo e tem origem no Brasil. G1, [s. l.], 27 set. 2016. Disponível em: <http://g1.globo.com/sp/campinas-regiao/terra-da-gente/flora/noticia/2016/09/coroe-frade-e-cacto-com-formato-de-globo-e-tem-origem-no-brasil.html>. Acesso em: 22 out. 2019.

DETALHE construtivo ZinCo para Coberturas Ecológicas - Extensivas, Semi-intensivas e Intensivas. Brasil, 2014. Disponível em; http://www.zincobrasil.com.br/sistemas_teto_jardim/index.html. Acesso em: 16 maio 2019.

ECOTELHADO. **Manual e especificações do Sistema Modular Alveolar Grelhado.** Rio Grande do Sul: [s. n.], 21--. Disponível em: <https://ecotelhado.com/wp-content/uploads/2013/09/Manual-e-especifica%C3%A7%C3%B5es-do-Sistema-Modular-Alveolar-Grelhado.pdf>. Acesso em: 11 set. 2019.

FERRAZ, Fernando F. Barros; CECCATTO, Thaina. **DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL NO BRASIL. AVIX**, São Paulo, 2015. Disponível em: <http://www.avix.com.br/pt/publicacoes/2-artigo-2>. Acesso em: 3 abr. 2019.

FLORES, R. A.; MENDES, R. L. R.; OLIVEIRA, D. R. C.; COSTA, T. C.D.; VELOSO, N. S.L. **Potencial de captação de água de chuva para abastecimento: o caso da cidade de Belém (PA, Brasil)**. Rev. Estudos Tecnológicos em Engenharia. v. 8.n.2. p.69-80. 2012.

FRANCISCO, P.R.M. **Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas.** 2010. 122f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia.

Fundação João Pinheiro: **Déficit Habitacional no Brasil 2015**. Belo Horizonte, 2018.

HEINEINE, Maria Cristina A. de Souza. **Cobertura Verde**. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 2008.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010a. **1872-2010_Estatísticas**.

_____. **Pesquisa nacional de saneamento básico: 2008 / IBGE, Coordenação de População e Indicadores Sociais**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010b. 218 p. ISBN 9788524041358.

_____. 2017. **Divisão Regional do Brasil**». Consultado em 7 de janeiro de 2019.

INGRA - INTERNATIONAL GREEN ROOFS ASSOCIATION. **A Quick Guide to Green Roofs**. 2010. Acesso em: 05 abr. 2019.

JARDIM 1.1. São Carlos (SP), Dezembro 2003. Disponível em: http://www.roriz.eng.br/download_6.html. Acesso em: 1 ago. 2019.

KHAN, M. A. **Domestic Roof Water Harvesting Technology in Thar Desert**. Índia: [s. n.], 2001.

KLINTOWITZ, D. C. (2011). **Como as políticas habitacionais se inserem nos contextos de reforma do estado? A experiência recente do Brasil**. Revista Pensamento & Realidade. São Paulo, v. 26, n. 3, pp. 101-120.

KOLB, Walter. **The rainwater technology Handbook**. Alemanha: [s. n.], 2001.

LÁPIS - **Laboratório de Análise e Processamento de Imagens de Satélites**, 2018.

LAAR, M. Et al. **Estudo de aplicação de plantas em telhados vivos extensivos em cidades de clima tropical**. In. ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO-ENCAC, 6. Anais...São Pedro, São Paulo, 2001.

LIMA, P. C. da S.; LEITÃO, M. de M. V. B. R.; AZEVEDO, P. V. de; OLIVEIRA, G. M. de; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; MOURA, M. S. B. de; MENEZES, H. E. A.; PINTO, M. G. C. de L. **Albedo de pastagem e caatinga**. In: EMBRAPA Semiárido. [S. l.: s. n.], 2009. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPATSA-2010/41584/1/OPB2482.pdf>. Acesso em: 23 out. 2019.

MEDEIROS, Alexandre Magno Teodosio; BRITO, Antônio Cavalcanti. **A seca no Estado da Paraíba – Impactos e ações de resiliência. A seca nos Estados**, Brasília - DF, 2017. Disponível em: http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/viewFile/849/777. Acesso em: 7 maio 2019.

MANOGRAFIA. In: ARAÚJO, Sidney Rocha. **As Funções dos Telhados Verdes no Meio Urbano, na Gestão e no Planejamento de Recursos Hídricos**. 2007. TCC (Graduação em Curso de Engenharia Florestal) - UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO, Rio de Janeiro, 2007.

MIGUEZ, Marcelo Gomes; REZENDE, Osvaldo Moura; VERÓL, Aline Pires. **Drenagem Urbana: Do projeto tradicional à sustentabilidade**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

MONTEIRO, A. R., & Veras, A. T. (2017). **A QUESTÃO HABITACIONAL NO BRASIL. MERCATOR**, 16, pp. 1-5.doi:<http://www.mercator.ufc.br/ojs3/mercator/article/view/1609>.

MOREIRA, **Mesorregiões e microrregiões da Paraíba: delimitação e caracterização**. João Pessoa: Gasplan, 1989. 74p.

MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental**. 3ªed. Rio de Janeiro: ABES, 2003.

NASCIMENTO, W. C. do; FREITAS. M. do C. D; SCHMID, A. **Coberturas verdes: A renovação de uma ideia**. Universidade Federal do Paraná, Paraná, out. 2008. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/235771612_COBERTURAS_VERDES_-_A_RENOVACAO_DE_UMA_IDEIA. Acesso em: 15 abr. 2019.

OLIC, Nelson Bacic. **Recursos hídricos nas regiões brasileiras: aspectos, usos e conflitos** (2003).

ONU, Organização das Nações Unidas. **“Perspectivas da Urbanização Mundial”** (World Urbanization Prospects), 2018.

OSMUNDSON, T. **Roofs gardens: history, desing and construction**. New York: W.W. Norton e Company, Inc, 1999.

PECK, S. W. Et al. **Greenbacks from green roofs: forging a new industry in Canadá**. Peck and associates, 2002.

PRATO, Raquel. Babosa – Aloe arborescens. **Jardineiro.net**, [s. l.], 18 jul. 2015.

PRIETO, Immaculada; MENEZES, Murilo; CALEGARI, Diego. PLANEJAMENTO URBANO NO BRASIL: UM BREVE HISTÓRICO. **Politize!**, Rio de Janeiro, 15 nov. 2017. Disponível em: <https://www.politize.com.br/planejamento-urbano-brasil/>. Acesso em: 7 maio 2019.

PORTO, R.; ZAHED FILHO, K.; TUCCI, C. E. M.; BIDONE, F. **Drenagem Urbana**. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia, ciência e aplicação**. 4 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2012.

REBOUÇAS, Aldo. Água na Região Nordeste: desperdício e escassez. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 11, n. 29, p. 127-154, 1997.

REIS, Flávio. **INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA – CHUVA PARTE 1**. [S. l.], 14/01/2017. Disponível em: <http://www.hidromundo.com.br/intensidade-pluviometrica/>. Acesso em: 13 maio 2019.

ROCHA, J. C; ROSA, A. H; CARDOSO, A. A. *Introdução à química ambiental*. Porto Alegre:Bookman, 2004.

RODRIGUES, Lucas Pazolini Dias; MOREIRA, Vinícius de Souza. *Habitação e políticas públicas: o que se tem pesquisado a respeito?*. **Universidade Federal de Viçosa (UFV)**, Viçosa, MG, 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/urbe/2016nahead/2175-3369-urbe-2175-3369008002AO01.pdf>. Acesso em: 5 maio 2019.

SPERANDELLI, DI; DUPAS FA, Pons NAD. 2013. Dynamics of Urban Sprawl, Vacant Land, and Green Spaces on the Metropolitan Fringe of São Paulo, Brazil. **Journal of Urban Planning and Development**. 139: 274-279

TECNOTRI INDÚSTRIA DE PLÁSTICOS LTDA. **Manual Cisterna Vertical Modular**. Rio Grande do Sul: [s. n.], Novembro 2016. Disponível em: <https://conteudo.tecnutri.com.br/agradecimento-manual-cisterna-600-1000>. Acesso em: 1 ago. 2019.

TELHADO Verde. **Portal São Francisco**, [S. l.], 21--. Disponível em: <https://www.portalsaofrancisco.com.br/meio-ambiente/telhado-verde>. Acesso em: 15 maio 2019.

THE UK WATER PARTNERSHIP. *Future Visions for Water and Cities - a thought piece*. Londres: Research Councils UK, 2015.

TOMAZ, Plínio. Cobertura verde. *In*: TOMAZ, Plínio. **Curso de Manejo de águas pluviais**. Guarulhos: [s. n.], 2009.

_____, Plínio. APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA. *In*: TOMAZ, Plínio. **Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis**. São Paulo: [s. n.], 2010. v. 1.

TWORT, Alan C.; RATNAYAKA, Don D.; BRANDT, Malcolm J. (ed.). **Water Supply**. 5. ed. aum. [S. l.]: Butterworth-Heinemann, 2000. 712 p. ISBN 978-0-340-72018-9. DOI <https://doi.org/10.1016/B978-0-340-72018-9.X5000-0>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/book/9780340720189/water-supply>. Acesso em: 14 maio 2019.

TUCCI, C. E. M. 1995. **Enchentes urbanas, In Drenagem Urbana**. cap. 1. Editora da Universidade. ABRH.

_____, Carlos E. M. **Revista brasileira de recursos hídricos**. Volume 2, n 2. Jul/Dez, 1997.

_____, Carlos .E.M. **Gerenciamento da drenagem urbana**. *In*: RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre, RS Vol. 7, n. 1(2002 jan./mar.), p. 5-27. 2002.

UMA RADIOGRAFIA da seca nos estados do Nordeste, em mapas. **Letras Ambientais**, [S. l.], 15 ago. 2018. Disponível em: <https://letrasambientais.com.br/posts/uma-radiografia-da-seca-nos-estados-do-nordeste,-em-mapas>. Acesso em: 7 maio 2019.

WOODS-BALLARD, B.; KELLAGHER, R.; JEFFERIES, C.; BRAY, R.; SHAFFER, P. **The SuDS Manual**. Londres: CIRIA, 2007